



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103703158 B

(45) 授权公告日 2016.06.08

(21) 申请号 201280037014.X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012.05.24

C22C 38/58(2006.01)

C22C 38/44(2006.01)

(30) 优先权数据

201103887-4 2011.05.26 SG

(56) 对比文件

JP 特开 2010-31313 A, 2010.02.12,

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014.01.24

审查员 李娇

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/SG2012/000183 2012.05.24

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/161661 EN 2012.11.29

(73) 专利权人 新加坡商·联合管线亚太有限公司

地址 新加坡新加坡市

(72) 发明人 塞西尔·弗农·罗斯科

(74) 专利代理机构 北京中博世达专利商标代理有限公司 11274

代理人 申健

权利要求书10页 说明书65页

(54) 发明名称

奥氏体不锈钢

(57) 摘要

本文公开了奥氏体不锈钢。在所描述的实施例中,所述奥氏体不锈钢包括 16.00wt% 的铬到 30.00wt% 的铬;8.00wt% 的镍到 27.00wt% 的镍;不超过 7.00wt% 的钼;0.40wt% 的氮到 0.70wt% 的氮,1.0wt% 的锰到 4.00wt% 的锰,和少于 0.10wt% 的碳,其中,所述锰对所述氮的比率控制为小于或等于 10.0。还公开了基于规定最小 PREN (耐点蚀当量数)值的奥氏体不锈钢。(1)对于 N 在 0.40 - 0.70 范围内, $PRE = wt\%Cr + 3.3 \times wt\%(Mo) + 16wt\%N \geq 25$ 。(2)对于存在 W、N 在 0.40 - 0.70 范围内, $PRE = wt\%Cr + 3.3 \times wt\%(Mo+W) + 16wt\%N \geq 27$ 。

1. 奥氏体不锈钢, 其特征在于, 具有非磁性奥氏体微观结构, 包括: 16.00wt% 的铬到 30.00wt% 的铬(Cr); 8.00wt% 的镍到 27.00wt% 的镍(Ni); 少于 7.00wt% 的钼(Mo); 0.40wt% 的氮到 0.70wt% 的氮(N), 1.0wt% 的锰到 4.00wt% 的锰(Mn), 不超过 1.0wt% 的铌(Nb), 少于 0.10wt% 的碳(C), $\leq 0.070\text{wt}\%$ 的氧, 不超过 2.00wt% 的硅(Si), 并且剩余部分为铁和不可避免的杂质,

其中, 所述锰(Mn)对所述氮(N)的比率控制为小于或等于 10.0; 和

其中, 铬当量[Cr]对镍当量[Ni]的比率确定并控制为超过 0.40 且小于 1.05; 和

其中, 所述铬当量根据第一公式确定并控制为: $[\text{Cr}] = (\text{wt}\% \text{Cr}) + (1.5 \times \text{wt}\% \text{Si}) + (1.4 \times \text{wt}\% \text{Mo}) + (\text{wt}\% \text{Nb}) - 4.99$; 和

其中, 所述镍当量根据第二公式确定并控制为: $[\text{Ni}] = (\text{wt}\% \text{Ni}) + (30 \times \text{wt}\% \text{C}) + (0.5 \times \text{wt}\% \text{Mn}) + ((26 \times \text{wt}\% (\text{N} - 0.02))) + 2.77$; 和其中

所述不锈钢在 1100℃ 至 1250℃ 之间的温度下进行固溶热处理, 并随后进行水淬火, 以形成非磁性奥氏体微观结构。

2. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述铬为 17.50wt% 到 20.00wt% Cr。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述铬为 $\geq 18.25\text{wt}\% \text{Cr}$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述镍为 8.00wt% 到 12.00wt% Ni。

5. 根据权利要求 4 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述镍为 $\leq 11.00\text{wt}\% \text{Ni}$ 。

6. 根据权利要求 4 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述镍为 $\leq 10.00\text{wt}\% \text{Ni}$ 。

7. 根据权利要求 1 或 2 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钼为不超过 2.00wt% Mo。

8. 根据权利要求 1 或 2 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钼为 $\geq 0.50\text{wt}\%$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\% \text{Mo}$ 。

9. 根据权利要求 1 或 2 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钼为 $\geq 1.00\text{wt}\% \text{Mo}$ 。

10. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述铬为 16.00wt% 到 18.00wt% Cr。

11. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述铬为 $\geq 17.25\text{wt}\% \text{Cr}$ 。

12. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述镍为 10.00wt% 到 14.00wt% Ni。

13. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述镍为 $\leq 13\text{wt}\% \text{Ni}$ 。

14. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述镍为 $\leq 12\text{wt}\% \text{Ni}$ 。

15. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钼为 $\geq 2.00\text{wt}\%$ 到 $\leq 4.00\text{wt}\% \text{Mo}$ 。

16. 根据权利要求 1、10-15 中任一项所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钼为 $\geq 3.00\text{wt}\% \text{Mo}$ 。

17. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述铬为 18.00wt% 到 20.00wt% Cr。

18. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述铬为 $\geq 19.00\text{wt}\% \text{Cr}$ 。

19. 根据权利要求 1 所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述镍为 11.00wt% 到

15.00wt%Ni。

20.根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 14.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

21.根据权利要求18所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 13.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

22.根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为13.50wt%到17.50wt%Ni。

23.根据权利要求22所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 16.50\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

24.根据权利要求22所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 15.50\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

25.根据权利要求1、17到24中任一项所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 3.00\text{wt}\%$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

26.根据权利要求1、17-24中任一项所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

27.根据权利要求1、17-24中任一项所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 5.00\text{wt}\%$ 且少于7.00wt%Mo。

28.根据权利要求1、17-24中任一项所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 6.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

29.根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铬为20.00wt%到22.00wt%Cr。

30.根据权利要求1或29所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铬为 $\geq 21.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

31.根据权利要求1或29所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为15.00wt%到19.00wt%Ni。

32.根据权利要求1或29所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 18.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

33.根据权利要求1或29所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 17.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

34.根据权利要求29所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 5.00\text{wt}\%$ 且少于7.00wt%Mo。

35.根据权利要求29所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 6.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

36.根据权利要求29所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 3.00\text{wt}\%$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

37.根据权利要求36所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

38.根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铬为22.00wt%到24.00wt%Cr。

39.根据权利要求38所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铬为 $\geq 23.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

40.根据权利要求1或38所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为17.00wt%到21.00wt%Ni。

41.根据权利要求1或38所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 20.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

42.根据权利要求1或38所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 19.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

43.根据权利要求38所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 5.00\text{wt}\%$ 且少于7.00wt%Mo。

44.根据权利要求43所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 6.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

45.根据权利要求38所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 3.00\text{wt}\%$ 且 $\leq$

5.00wt%Mo。

46.根据权利要求45所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

47.根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铬为 $24.00\text{wt}\%$ 到 $26.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

48.根据权利要求47所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铬为 $\geq 25.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

49.根据权利要求1或47所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $19.00\text{wt}\%$ 到 $23.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

50.根据权利要求1或47所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 22.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

51.根据权利要求1或47所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 21.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

52.根据权利要求47所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且少于 $7.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

53.根据权利要求1或47所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 6.00\text{wt}\%$ 且少于 $7.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

54.根据权利要求1或47所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 6.50\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

55.根据权利要求47所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 3.00\text{wt}\%$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

56.根据权利要求55所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

57.根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铬为 $26.00\text{wt}\%$ 到 $28.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

58.根据权利要求57所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铬为 $\geq 27.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

59.根据权利要求1或57所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $21.00\text{wt}\%$ 到 $25.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

60.根据权利要求1或57所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 24.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

61.根据权利要求1或57所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 23.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

62.根据权利要求57所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且少于 $7.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

63.根据权利要求1或57所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 5.50\text{wt}\%$ 且 $\leq 6.50\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

64.根据权利要求63所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 6.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

65.根据权利要求57所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 3.00\text{wt}\%$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

66.根据权利要求65所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钼为 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

67.根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铬为 $28.00\text{wt}\%$ 到 $30.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

68.根据权利要求67所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铬为 $\geq 29.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

69.根据权利要求1或67所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $23.00\text{wt}\%$ 到 $27.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

70.根据权利要求1或67所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 26.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

71.根据权利要求1或67所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述镍为 $\leq 25.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

72. 根据权利要求67所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钼为 $\geq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且少于 $7.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

73. 根据权利要求67所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钼为 $\geq 5.50\text{wt}\%$ 且 $\leq 6.50\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

74. 根据权利要求67所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钼为 $\geq 6.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

75. 根据权利要求67所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钼为 $\geq 3.00\text{wt}\%$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

76. 根据权利要求75所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钼为 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

77. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述氮为 $\geq 0.40\text{wt}\%$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$ 。

78. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述氮为 $\geq 0.45\text{wt}\%$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。

79. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 0.030\text{wt}\%$ 的碳。

80. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $0.020\text{wt}\%$ 到 $0.030\text{wt}\%$ 的碳。

81. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述碳为 $\leq 0.025\text{wt}\%\text{C}$ 。

82. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括不超过 $2.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。

83. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $1.0\text{wt}\%$ 锰到 $2.0\text{wt}\%$ 锰。

84. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述锰为 $\geq 1.20\text{wt}\%$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%$ 锰。

85. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 锰对氮的比率控制为小于或等于 5.0 。

86. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 锰对氮的所述比率控制为小于或等于 3.75 。

87. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $2.0\text{wt}\%$ 锰到 $4.0\text{wt}\%$ 锰。

88. 根据权利要求87所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述锰为 $\leq 3.0\text{wt}\%$ 锰。

89. 根据权利要求87所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述锰为 $\leq 2.50\text{wt}\%$ 锰。

90. 根据权利要求1或87所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 锰对氮的所述比率控制为小于或等于 7.50 。

91. 根据权利要求1或87所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 锰对氮的所述比率控制为小于或等于 6.25 。

92. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 0.030\text{wt}\%$ 的磷。

93. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 0.025\text{wt}\%$ 的磷。

94. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 0.020\text{wt}\%$ 的磷。

95. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 0.015\text{wt}\%$ 的磷。

96. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 0.010\text{wt}\%$ 的磷。

97. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 0.010\text{wt}\%$ 的硫。

98. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 0.005\text{wt}\%$ 的硫。

99. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 0.003\text{wt}\%$ 的硫。

100. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\leq 0.001\text{wt}\%$ 的硫。
101. 根据权利要求21所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述氧为 $\leq 0.050\text{wt}\%$ 氧。
102. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述氧为 $\leq 0.030\text{wt}\%$ 氧。
103. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述氧为 $\leq 0.010\text{wt}\%$ 氧。
104. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述氧为 $\leq 0.005\text{wt}\%$ 氧。
105. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括不超过 $0.75\text{wt}\%$ 的硅。
106. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述硅为 $\geq 0.25\text{wt}\%$ 且 $\leq 0.75\text{wt}\%$ 的硅。
107. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述硅为 $\geq 0.40\text{wt}\%$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%$ 的硅。
108. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述硅为 $\geq 0.75\text{wt}\%$ Si 且 $\leq 2.00\text{wt}\%$ 硅。
109. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括选自硼、铈、铝、钙、镁、铜、钨、钒、钛、和/或铌加钽的至少一种。
110. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\leq 0.010\text{wt}\%$ 硼。
111. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\geq 0.001\text{wt}\%$ 硼且 $\leq 0.010\text{wt}\%$ 硼。
112. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\geq 0.0015\text{wt}\%$ 硼且 $\leq 0.0035\text{wt}\%$ 硼。
113. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\geq 0.0001\text{wt}\%$ 硼且 $\leq 0.0006\text{wt}\%$ 硼。
114. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\leq 0.10\text{wt}\%$ 铈。
115. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\geq 0.01\text{wt}\%$ 铈且 $\leq 0.10\text{wt}\%$ 铈。
116. 根据权利要求114或115所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述铈为 $\geq 0.03\text{wt}\%$ 铈且 $\leq 0.08\text{wt}\%$ 铈。
117. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\leq 0.050\text{wt}\%$ 铝。
118. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\geq 0.005\text{wt}\%$ 铝且 $\leq 0.050\text{wt}\%$ 铝。
119. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\geq 0.010\text{wt}\%$ 铝且 $\leq 0.030\text{wt}\%$ 铝。
120. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\leq 0.010\text{wt}\%$ 钙。
121. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\geq 0.001\text{wt}\%$ 钙且 $\leq 0.010\text{wt}\%$ 钙。
122. 根据权利要求121所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述钙为 $\geq 0.001\text{wt}\%$ 钙且 $\leq 0.005\text{wt}\%$ 钙。
123. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\leq 0.010\text{wt}\%$ 镁。
124. 根据权利要求123所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,还包括 $\geq 0.001\text{wt}\%$ 镁且 $\leq 0.010\text{wt}\%$ 镁。

125. 根据权利要求124所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述镁为 $\geq 0.001\text{wt}\%$ 镁且 $\leq 0.005\text{wt}\%$ 镁。

126. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 1.50\text{wt}\%$ 铜。

127. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\geq 0.50\text{wt}\%$ 铜且 $\leq 1.50\text{wt}\%$ 铜。

128. 根据权利要求127所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述铜为 $\leq 1.00\text{wt}\%$ 铜。

129. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 3.50\text{wt}\%$ 铜。

130. 根据权利要求129所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\geq 1.50\text{wt}\%$ 铜且 $\leq 3.50\text{wt}\%$ 铜。

131. 根据权利要求130所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述铜为 $\leq 2.50\text{wt}\%$ 铜。

132. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 2.00\text{wt}\%$ 钨。

133. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\geq 0.50\text{wt}\%$ 钨且 $\leq 1.00\text{wt}\%$ 钨。

134. 根据权利要求133所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钨为 $\geq 0.75\text{wt}\%$ 钨。

135. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\leq 0.50\text{wt}\%$ 钒。

136. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $\geq 0.10\text{wt}\%$ 钒且 $\leq 0.50\text{wt}\%$ 钒。

137. 根据权利要求135所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钒为 $\leq 0.30\text{wt}\%$ 钒。

138. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $0.040\text{wt}\%$ 碳到少于 $0.10\text{wt}\%$ 的碳。

139. 根据权利要求1所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括 $0.040\text{wt}\%$ 碳到 $0.050\text{wt}\%$ 碳。

140. 根据权利要求138所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述碳为 $>0.030\text{wt}\%$ 碳且 $\leq 0.08\text{wt}\%$ 碳。

141. 根据权利要求140所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述碳为 $>0.030\text{wt}\%$ 碳且 $<0.040\text{wt}\%$ 碳。

142. 根据权利要求138所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 还包括不超过 $0.70\text{wt}\%$ 钛。

143. 根据权利要求142所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述钛超过 $Ti_{\text{最小值}}$; 其中,

$Ti_{\text{最小值}}$ 从 $4 \times C_{\text{最小值}}$ 计算; 且其中

$C_{\text{最小值}}$ 为所述碳的最小量。

144. 根据权利要求140所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 进一步包括不超过 $0.70\text{wt}\%$ 的钛, 其中所述钛超过 $Ti_{\text{最小值}}$; 其中,

$Ti_{\text{最小值}}$ 从 $5 \times C_{\text{最小值}}$ 计算; 且其中

$C_{\text{最小值}}$ 为所述碳的最小量。

145. 根据权利要求138所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述铌超过 $Nb_{\text{最小值}}$; 其中,

$Nb_{\text{最小值}}$ 从 $8 \times C_{\text{最小值}}$ 计算; 其中

$C_{\text{最小值}}$ 为所述碳的最小量。

146. 根据权利要求140所述的奥氏体不锈钢, 其特征在于, 所述铌超过 $Nb_{\text{最小值}}$; 其中,

$Nb_{\text{最小值}}$ 从 $10 \times C_{\text{最小值}}$ 计算; 其中

$C_{\text{最小值}}$ 为所述碳的最小量。

147. 根据权利要求145所述的奥氏体不锈钢,其特征在於,还包括不超过1.0wt%铌加钽,且最多0.10wt%的钽。

148. 根据权利要求147所述的奥氏体不锈钢,其特征在於,所述铌加钽超过 $Nb+Ta_{\text{最小值}}$;其中,

$Nb+Ta_{\text{最小值}}$ 从 $8 \times C_{\text{最小值}}$ 计算;其中

$C_{\text{最小值}}$ 为所述碳的最小量,具有0.10wt% $Ta_{\text{最大值}}$ 。

149. 根据权利要求140所述的奥氏体不锈钢,其特征在於,进一步包括不超过1.0wt%的铌加钽,且最多0.10wt%的钽,其中所述铌加钽超过 $Nb+Ta_{\text{最小值}}$;其中,

$Nb+Ta_{\text{最小值}}$ 从 $10 \times C_{\text{最小值}}$ 计算;其中

$C_{\text{最小值}}$ 为所述碳的最小量,具有0.10wt% $Ta_{\text{最大值}}$ 。

150. 奥氏体不锈钢,其特征在於,具有非磁性奥氏体微观结构,包括0.40到0.70wt%的氮和规定耐点蚀当量($PRE_N \geq 25$)的合金组成;其中

$PRE_N = \text{wt\% 铬} + (3.3 \times \text{wt\% 钼}) + (16 \times \text{wt\% 氮})$,

其中,所述合金组成还包括16.00wt%的铬到30.00wt%的铬(Cr);8.00wt%的镍到27.00wt%的镍(Ni);少于7.00wt%的钼(Mo);1.0wt%的锰到4.00wt%的锰(Mn),不超过1.0wt%的铌(Nb),少于0.10wt%的碳(C), $\leq 0.070\text{wt\%}$ 的氧,不超过2.00wt%的硅(Si),以及剩余部分为铁和不可避免的杂质,

其中,锰(Mn)对氮(N)的比率控制为小于或等于10.0;以及

其中,铬当量[Cr]对镍当量[Ni]的比率确定并控制为超过0.40且小于1.05;和

其中,所述铬当量根据第一公式确定并控制为: $[Cr] = (\text{wt\% Cr}) + (1.5 \times \text{wt\% Si}) + (1.4 \times \text{wt\% Mo}) + (\text{wt\% Nb}) - 4.99$;和

其中,所述镍当量根据第二公式确定并控制为: $[Ni] = (\text{wt\% Ni}) + (30 \times \text{wt\% C}) + (0.5 \times \text{wt\% Mn}) + ((26 \times \text{wt\% (N-0.02)})) + 2.77$;和

其中,所述不锈钢在1100℃至1250℃之间的温度下进行固溶热处理,并随后进行水淬火,以形成非磁性奥氏体微观结构。

151. 奥氏体不锈钢,其特征在於,具有非磁性奥氏体微观结构,包括0.40到0.60wt%氮和规定耐点蚀当量($PRE_N \geq 25$)的合金组成;其中

$PRE_N = \text{wt\% 铬} + (3.3 \times \text{wt\% 钼}) + (16 \times \text{wt\% 氮})$

其中,所述合金组成还包括16.00wt%的铬到30.00wt%的铬(铬);8.00wt%的镍到27.00wt%的镍(Ni);少于7.00wt%的钼(Mo);1.0wt%的锰到4.00wt%的锰(Mn),不超过1.0wt%的铌(Nb),少于0.10wt%的碳(C), $\leq 0.070\text{wt\%}$ 的氧,不超过2.00wt%的硅(Si),以及剩余部分为铁和不可避免的杂质,

其中,锰(Mn)对氮(N)的比率控制为小于或等于10.0;以及

其中,铬当量[Cr]对镍当量[Ni]的比率确定并控制为超过0.40且小于1.05;和

其中,所述铬当量根据第一公式确定并控制, $[Cr] = (\text{wt\% Cr}) + (1.5 \times \text{wt\% Si}) + (1.4 \times \text{wt\% Mo}) + (\text{wt\% Nb}) - 4.99$;和

其中,所述镍当量根据第二公式确定并控制, $[Ni] = (\text{wt\% Ni}) + (30 \times \text{wt\% C}) + (0.5 \times \text{wt\% Mn}) + ((26 \times \text{wt\% (N-0.02)})) + 2.77$;和

其中,所述不锈钢在1100℃至1250℃之间的温度下进行固溶热处理,并随后进行水淬火,以形成非磁性奥氏体微观结构。

152.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 30 。

153.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 35 。

154.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 40 。

155.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 45 。

156.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 37 。

157.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 42 。

158.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 43 。

159.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 48 。

160.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 39 。

161.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 44 。

162.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 50 。

163.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 47 。

164.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 48.5 。

165.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 53.5 。

166.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 49 。

167.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 50.5 。

168.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 55.5 。

169.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 46 。

170.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 51 。

171.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 52.5 。

172.根据权利要求150或151所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述PRE_N为 ≥ 57.5 。

173.奥氏体不锈钢,其特征在于,具有非磁性奥氏体微观结构,包括0.50wt%到1.00wt%的钨、0.40到0.70wt%的氮、和规定耐点蚀当量(PRE_{NW}) ≥ 27 的合金组成;其中

$$\text{PRE}_{\text{NW}} = \text{wt}\% \text{ 铬} + [(3.3 \times \text{wt}\% (\text{钼} + \text{钨})) + (16 \times \text{wt}\% \text{ 氮})]$$

其中,所述合金组成还包括16.00wt%的铬到30.00wt%的铬(Cr);8.00wt%的镍到27.00wt%的镍(Ni);少于7.00wt%的钼(Mo);1.0wt%的锰到4.00wt%的锰(Mn),不超过1.0wt%的铌(Nb),少于0.10wt%的碳(C), $\leq 0.070\text{wt}\%$ 的氧,不超过2.00wt%的硅(Si),以及剩余部分为铁和不可避免的杂质,

其中,锰(Mn)对氮(N)的比率控制为小于或等于10.0;以及

其中,铬当量[Cr]对镍当量[Ni]的比率确定并控制为超过0.40且小于1.05;和

其中,所述铬当量根据第一公式确定并控制为:[Cr]=(wt%Cr)+(1.5×wt%Si)+(1.4×wt%Mo)+(wt%Nb)-4.99;和

其中,所述镍当量根据第二公式确定并控制为:[Ni]=(wt%Ni)+(30×wt%C)+(0.5×wt%Mn)+((26×wt%(N-0.02))+2.77;和

其中,所述不锈钢在1100℃至1250℃之间的温度下进行固溶热处理,并随后进行水淬火,以形成非磁性奥氏体微观结构。

174.奥氏体不锈钢,其特征在于,具有非磁性奥氏体微观结构,包括0.40到0.60wt%的

氮、0.50wt%到1.00wt%的钨和规定耐点蚀当量(PRE_{NW}) ≥ 27 的合金组成;其中

$$PRE_{NW} = \text{wt}\% \text{ 铬} + [(3.3 \times \text{wt}\% (\text{钼} + \text{钨})) + (16 \times \text{wt}\% \text{ 氮})]$$

其中,所述合金组成还包括16.00wt%的铬到30.00wt%的铬(Cr);8.00wt%的镍到27.00wt%的镍(Ni);少于7.00wt%的钼(Mo);1.0wt%的锰到4.00wt%的锰(Mn),不超过1.0wt%的铌(Nb),少于0.10wt%的碳(C), $\leq 0.070\text{wt}\%$ 的氧,不超过2.00wt%的硅(Si),以及剩余部分为铁和不可避免的杂质,

其中,锰(Mn)对氮(N)的比率控制为小于或等于10.0;以及

其中,铬当量[Cr]对镍当量[Ni]的比率确定并控制为超过0.40且小于1.05;和

其中,所述铬当量根据第一公式确定并控制为: $[\text{Cr}] = (\text{wt}\% \text{ Cr}) + (1.5 \times \text{wt}\% \text{ Si}) + (1.4 \times \text{wt}\% \text{ Mo}) + (\text{wt}\% \text{ Nb}) - 4.99$;和

其中,所述镍当量根据第二公式确定并控制为: $[\text{Ni}] = (\text{wt}\% \text{ Ni}) + (30 \times \text{wt}\% \text{ C}) + (0.5 \times \text{wt}\% \text{ Mn}) + ((26 \times \text{wt}\% (\text{N} - 0.02))) + 2.77$;和

其中,所述不锈钢在1100℃至1250℃之间的温度下进行固溶热处理,并随后进行水淬火,以形成非磁性奥氏体微观结构。

175. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 32 。

176. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 37 。

177. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 42 。

178. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 47 。

179. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 39 。

180. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 44 。

181. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 45 。

182. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 50 。

183. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 41 。

184. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 46 。

185. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 52 。

186. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 49 。

187. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 50.5 。

188. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 55.5 。

189. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 51 。

190. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 52.5 。

191. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 57.5 。

192. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 48 。

193. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 53 。

194. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 54.5 。

195. 根据权利要求173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,所述 PRE_{NW} 为 ≥ 59.5 。

196. 根据权利要求1、150、151、173或174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,铬当量对镍当量的所述比率在多于0.45且小于0.95范围内。

197. 锻钢,其特征在于,包括权利要求1、150、151、173或174所述的奥氏体不锈钢。

198. 铸钢,其特征在于,包括权利要求1、150、151、173或174任一项所述的奥氏体不锈

钢。

199. 根据权利要求1、权利要求150或权利要求151、权利要求173或权利要求174所述的奥氏体不锈钢,其特征在于,[Cr]和[Ni]进一步定义为:

铬当量, $[Cr] = (wt\%Cr) + (1.5 \times wt\%Si) + (1.4 \times wt\%Mo) + (wt\%Nb) + (0.72 \times wt\%W) + (2.27 \times wt\%V) + (2.20 \times wt\%Ti) + (0.21 \times wt\%Ta) + (2.48 \times wt\%Al) - 4.99$; 和

镍当量, $[Ni] = (wt\%Ni) + (30 \times wt\%C) + (0.5 \times wt\%Mn) + ((26 \times wt\%(N-0.02)) + (0.44\% \times wt\%Cu) + 2.77$, 其中

所述wt%的Nb、W、V、Ti、Ta、Al和Cu都为非零值; 和

其中

Nb=铌

W=钨;

V=钒;

Ti=钛;

Ta=钽;

Al=铝; 和

Cu=铜。

奥氏体不锈钢

[0001] 背景技术和技术领域

[0002] 本发明涉及奥氏体不锈钢。

[0003] 传统上,300系列奥氏体不锈钢如UNS S30403(304L)和UNS S30453(304LN)具有规定的化学组成,其重量百分比如本文表1所示:

[0004] 表1

[0005]

UNS 编号	型号		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
S 30403	304L	最少						17.50	8.00		
		最多	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	19.50	12.00	...	0.10

UNS 编号	型号		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
S 30453	304LN	最少						18.00	8.00		0.10
		最多	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	20.00	12.00	...	0.16

[0006] 上述传统奥氏体不锈钢具有与其特定规格范围相关的一些缺点。这可能潜在地导致在熔化阶段缺乏对化学分析的适当控制,这是优化合金性能以提供机械强度性能和良好耐腐蚀性的优良组合所必要的。

[0007] 合金如UNS S30403和UNS S30453所获得的机械性能不是最优化的,且与其他普通不锈钢类如22Cr双相不锈钢、25Cr双相及25Cr超级双相不锈钢相比相对较低。这显示在表2中,其比较了这些传统奥氏体不锈钢和典型牌号(grade)的22Cr双相、25Cr双相及25Cr超级双相不锈钢的性能。

[0008] 表2

[0009] 奥氏体不锈钢的机械性能

[0010]

UNS编 号	型号	抗拉强 度		屈服强 度		伸长率	硬度	
						2英寸或 50mm	注解2	
		最小		最小		最小	最大	
		Ksi	MPa	Ksi	MPa	%	布氏 (Brinell)	洛氏 (Rockwell) B
S30403	304L	70	485	25	170	40	201	92
S30453	304LN	75	515	30	205	40	217	95

[0011] 22Cr双相不锈钢的机械性能

[0012]

UNS编号	型号	抗拉强度		屈服强度		伸长率	硬度	
						2英寸或50mm	注解2	
		最小		最小		最小	最大	
		Ksi	MPa	Ksi	MPa	%	布氏	洛氏C
S31803	2205	90	620	65	450	25	293	31
S32205	2205	95	655	65	450	25	293	31
S32304	2304	87	600	58	400	25	290	32

[0013] 25Cr双相和25Cr超级双相不锈钢的机械性能

[0014]

UNS编号	型号	抗拉强度		屈服强度		伸长率	硬度	
						2英寸或50mm	注解2	
		最小		最小		最小	最大	
		Ksi	MPa	Ksi	MPa	%	布氏	洛氏C
S32760	...	108	750	80	550	25	270	...
S32750	2507	116	795	80	550	15	310	32
S39274	...	116	800	80	550	15	310	32
S32520	...	112	770	80	550	25	310	...

[0015] 注解2:引用的硬度数值适用于固溶退火状态。

[0016] 本发明的目的在于提供一种缓解现有技术的至少一个缺点奥氏体不锈钢,和/或向公众提供一个有用的选择。

发明内容

[0017] 根据本发明的第一方面,提供如权利要求1的奥氏体不锈钢。

[0018] 进一步优选的特征可以在从属权利要求中找到。

[0019] 从所描述的实施例中可以了解,奥氏体不锈钢(Cr-Ni-Mo-N)合金包括高水平的氮具有高机械强度性能与优异延性和韧性的独特组合,以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀性。具体地,所描述的实施例还解决了当与22Cr双相不锈钢及25Cr双相和25Cr超级双相不锈钢相比时传统300系列奥氏体不锈钢如UNS S30403和UNS S30453机械强度性能相对较低的问题。

具体实施方式

[0020] 304LM4N

[0021] 为了便于说明,本发明的第一实施例被称为304LM4N。总体而言,该304LM4N是高强度奥氏体不锈钢(Cr-Ni-Mo-N)合金,其包括高水平的氮并调配为达到最小规定(specified)耐点蚀当量(Pitting Resistance Equivalent) $PRE_N \geq 25$,且优选地 $PRE_N \geq 30$ 。根据该公式计算 PRE_N :

[0022] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ 。

[0023] 304LM4N高强度奥氏体不锈钢具有高机械强度性能与优异的延性和韧性的独特组合,以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀性。

[0024] 304LM4N高强度奥氏体不锈钢的化学组成是选择性的,并以如下重量(wt)百分比的化学元素的合金为特征:0.030wt%C(碳)最大值,2.00wt%Mn(锰)最大值,0.030wt%P(磷)最大值,0.010wt%S(硫)最大值,0.75wt%Si(硅)最大值,17.50wt%Cr(铬)-20.00wt%Cr, 8.00wt%Ni(镍)-12.00wt%Ni,2.00wt%Mo(钼)最大值,和0.40wt%N(氮)-0.70wt%N。

[0025] 304LM4N不锈钢还包括主要的Fe(铁)作为剩余部分,也可能含有非常少量的其他元素,比如0.010wt%B(硼)最大值,0.10wt%Ce(铈)最大值,0.050wt%Al(铝)最大值,0.01wt%Ca(钙)最大值和/或0.01wt%Mg(镁)最大值以及通常以残留水平存在的其他杂质。

[0026] 304LM4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化,以主要确保基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后具有奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度到1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保合金为奥氏体。因此,304LM4N不锈钢表现出环境温度下的高强度和延性的独特组合,并同时达到了环境温度及低温下的优异韧性。鉴于304LM4N高强度奥氏体不锈钢的化学组成被调节为达到 $PRE_N \geq 25$ 、但优选地 $PRE_N \geq 30$ 的事实,这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下与传统奥氏体不锈钢如UNS S30403和UNS S30453相比,304LM4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。

[0027] 已确定,304LM4N不锈钢的最优化学组成范围是精心选择的以包括基于第一实施例的如下重量百分比的化学元素:

[0028] 碳(C)

[0029] 304LM4N不锈钢的碳含量为 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{C}$ (即最大值为 $0.030\text{wt}\%\text{C}$)。优选地,碳的含量应该为 $\geq 0.020\text{wt}\%\text{C}$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{C}$ 且更优选地 $\leq 0.025\text{wt}\%\text{C}$ 。

[0030] 锰(Mn)

[0031] 第一实施例的304LM4N不锈钢可以有两种变化形式:低锰或高锰。

[0032] 对于低锰合金,304LM4N不锈钢的锰含量为 $\leq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。优选地,范围为 $\geq 1.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$,且更优选地 $\geq 1.20\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%\text{Mn}$ 。通过这种组成,达到了Mn对N的 ≤ 5.0 的最优比率,且优选地, ≥ 1.42 且 ≤ 5.0 。更优选地,该比率为 ≥ 1.42 且 ≤ 3.75 。

[0033] 对于高锰合金,304LM4N不锈钢的锰含量为 $\leq 4.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。优选地,锰含量为 $\geq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 4.0\text{wt}\%\text{Mn}$,且更优选地上限为 $\leq 3.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。甚至更优选地,上限为 $\leq 2.50\text{wt}\%\text{Mn}$ 。通过这种选择的范围,达到了Mn对N的 ≤ 10.0 的比率,且优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 10.0 。更优选地,对于高锰合金,Mn对N的比率为 ≥ 2.85 且 ≤ 7.50 ,且更优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 6.25 。

[0034] 磷(P)

[0035] 304LM4N不锈钢的磷含量被控制为 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{P}$ 。优选地,该304LM4N合金具有 $\leq 0.025\text{wt}\%\text{P}$ 且更优选地 $\leq 0.020\text{wt}\%\text{P}$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.015\text{wt}\%\text{P}$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{P}$ 。

[0036] 硫(S)

[0037] 第一实施例的304LM4N不锈钢包括的硫含量为 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{S}$ 。优选地,该304LM4N具有 $\leq 0.005\text{wt}\%\text{S}$ 且更优选地 $\leq 0.003\text{wt}\%\text{S}$,且甚至更优选地 $\leq 0.001\text{wt}\%\text{S}$ 。

[0038] 氧(O)

[0039] 304LM4N不锈钢的氧含量被控制为尽可能低,且在第一实施例中,该304LM4N具有 $\leq 0.070\text{wt}\%\text{O}$ 。优选地,该304LM4N合金具有 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{O}$ 且更优选地 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{O}$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{O}$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.005\text{wt}\%\text{O}$ 。

[0040] 硅(Si)

[0041] 304LM4N不锈钢的硅含量为 $\leq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 0.25\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 。更优选地,该范围为 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{Si}$ 。然而,对于需要提高抗氧化性能的特定较高温度的应用,硅含量可以为 $\geq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Si}$ 。

[0042] 铬(Cr)

[0043] 第一实施例的304LM4N不锈钢的铬含量为 $\geq 17.50\text{wt}\%\text{Cr}$ 且 $\leq 20.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 18.25\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

[0044] 镍(Ni)

[0045] 304LM4N不锈钢的镍含量为 $\geq 8.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 且 $\leq 12.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。优选地,该合金的Ni的上限为 $\leq 11\text{wt}\%\text{Ni}$ 且更优选地 $\leq 10\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

[0046] 钼(Mo)

[0047] 304LM4N不锈钢合金的钼含量为 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。更优选地,Mo的下限为 $\geq 1.0\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

[0048] 氮(N)

[0049] 304LM4N不锈钢的氮含量为 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$ 。更优选地,该304LM4N合金具有 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq$

0.55wt%N。

[0050] PRE_N

[0051] 耐点蚀当量(PRE_N)使用该公式计算:

[0052] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ 。

[0053] 该304LM4N不锈钢明确调配为具有下列组成:

[0054] (i) 铬含量 $\geq 17.50\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 20.00\text{wt}\%Cr$, 但优选地 $\geq 18.25\text{wt}\%Cr$;

[0055] (ii) 钼含量 $\leq 2.00\text{wt}\%Mo$, 但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%Mo$, 且更优选地 $\geq 1.0\text{wt}\%Mo$;

[0056] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$, 但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$, 且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$, 且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$ 。

[0057] 通过高水平的氮, 该304LM4N不锈钢达到了 $PRE_N \geq 25$, 且优选地 $PRE_N \geq 30$ 。这确保了合金在宽范围的加工环境下具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢如UNS S30403和UNS S30453相比时, 该304LM4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是, 这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0058] 304LM4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶, [Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 的范围内, 但优选地 >0.45 且 <0.95 , 以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构, 该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制, 以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0059] 304LM4N不锈钢也具有主要的铁(Fe)作为剩余部分, 且也可以含有非常少量的其他元素比如硼、铈、铝、钙和/或镁, 其重量百分比如下:

[0060] 硼(B)

[0061] 304LM4N不锈钢可以不具有有意添加到该合金中的硼, 因此对于不愿意有意添加硼到热物(heats)中的工厂(mill), 硼的水平通常为 $\geq 0.0001\text{wt}\%B$ 且 $\leq 0.0006\text{wt}\%B$ 。或者, 304LM4N不锈钢可以被制造为明确包括 $\leq 0.010\text{wt}\%B$ 。优选地, 硼的范围为 $\geq 0.001\text{wt}\%B$ 且 $\leq 0.010\text{wt}\%B$, 更优选地 $\geq 0.0015\text{wt}\%B$ 且 $\leq 0.0035\text{wt}\%B$ 。换句话说, 不锈钢生产过程中硼是专门被添加的, 但被控制以达到这种水平。

[0062] 铈(Ce)

[0063] 第一实施例的304LM4N不锈钢也可以包括 $\leq 0.10\text{wt}\%Ce$, 但优选地 $\geq 0.01\text{wt}\%Ce$ 且 $\leq 0.10\text{wt}\%Ce$ 。更优选地, 铈的量为 $\geq 0.03\text{wt}\%Ce$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%Ce$ 。如果不锈钢含有铈, 它也有可能含有其他稀有金属(REM)比如镧, 因为REM通常作为混合稀土金属(Mischmetal)被供应给不锈钢制造商。应注意的是, 稀土金属可以单独利用、或作为混合稀土金属一起利用, 该混合稀土金属提供的REM总量符合本文规定的Ce的水平。

[0064] 铝(Al)

[0065] 第一实施例的304LM4N不锈钢也可以包括 $\leq 0.050\text{wt}\%Al$, 但优选地 $\geq 0.005\text{wt}\%Al$ 且 $\leq 0.050\text{wt}\%Al$, 更优选地 $\geq 0.010\text{wt}\%Al$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\%Al$ 。

[0066] 钙(Ca)/镁(Mg)

[0067] 304LM4N不锈钢也可以包括 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{Ca}$ 和/或 Mg 。优选地,该不锈钢可以具有 $\geq 0.001\text{wt}\%\text{Ca}$ 和/或 Mg ,且 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{Ca}$ 和/或 Mg ,且更优选地 $\geq 0.001\text{wt}\%\text{Ca}$ 和/或 Mg ,且 $\leq 0.005\text{wt}\%\text{Ca}$ 和/或 Mg ,及通常以残留水平存在的其他杂质。

[0068] 根据上述特征,对于锻造版,304LM4N不锈钢具有55ksi或380MPa的最小屈服强度。更优选地,对于锻造版可以达到62ksi或430MPa的最小屈服强度。铸造版具有41ksi或280MPa的最小屈服强度。更优选地对于铸造版可以达到48ksi或330MPa的最小屈服强度。基于优选的强度值,304LM4N不锈钢的锻造机械强度性能与表2中UNS S30403的锻造机械强度性能相比,表明304LM4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S30403的最小屈服强度高2.5倍。类似地,新颖的和创新的304LM4N不锈钢的锻造机械强度性能与表2中UNS S30453的锻造机械强度性能相比,表明304LM4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S30453的最小屈服强度高2.1倍。

[0069] 第一实施例的304LM4N不锈钢对于锻造版具有102ksi或700MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于锻造版可以达到109ksi或750MPa的最小抗拉强度。铸造版具有95ksi或650MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于铸造版可以达到102ksi或700MPa的最小抗拉强度。基于优选值,新颖的和创新的304LM4N不锈钢的锻造机械强度性能与表2中UNS S30403的锻造机械强度性能相比,表明304LM4N不锈钢的最小抗拉强度比规定用于UNS S30403的最小抗拉强度高1.5倍以上。同样地,新颖的和创新的304LM4N奥氏体不锈钢的锻造机械强度性能与表2中UNS S30453的锻造机械强度性能相比,表明304LM4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S30453的最小抗拉强度高1.45倍。实际上,如果新颖的和创新的304LM4N不锈钢的锻造机械强度性能与表2中22Cr双相不锈钢的锻造机械强度性能相比,那么可以表明304LM4N不锈钢的最小抗拉强度比规定用于S31803规定的最小抗拉强度高1.2倍左右,并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的最小抗拉强度。因此,304LM4N不锈钢的最小机械强度性能与传统奥氏体不锈钢如UNS S30403和UNS S30453相比已经显著提高,并且抗拉强度性能优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉强度性能,并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉强度性能。

[0070] 这意味着使用锻造304LM4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定304LM4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢如UNS S30403和UNS S30453相比,由于最小容许设计应力可能会显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造304LM4N不锈钢的最小容许设计应力可能高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0071] 对于某些应用,304LM4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,304LM4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并以如下重量百分比的化学组成的合金为特征:

[0072] 铜(Cu)

[0073] 304LM4N不锈钢的铜含量为 $\leq 1.50\text{wt}\%\text{Cu}$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%\text{Cu}$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%\text{Cu}$,且对于较低铜范围合金更优选地为 $\leq 1.00\text{wt}\%\text{Cu}$ 。对于较高铜范围合金,铜含量可以包括 $\leq 3.50\text{wt}\%\text{Cu}$,但优选地 $\geq 1.50\text{wt}\%\text{Cu}$ 且 $\leq 3.50\text{wt}\%\text{Cu}$ 且更优选地 $\leq 2.50\text{wt}\%\text{Cu}$ 。

[0074] 铜可以单独添加,或连同钨、钒、钛和/或铌和/或铌加钽、以这些元素的所有各种组合来添加,以进一步提高该合金的总体腐蚀性能。铜是昂贵的,因此有目的地限制铜以优

化合金的经济性,而同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0075] 钨(W)

[0076] 304LM4N不锈钢的钨含量为 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$,且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。对于304LM4N不锈钢含钨变体,使用该公式计算耐点蚀当量:

[0077] $\text{PRE}_{\text{NW}} = \%Cr + [3.3 \times \%(\text{Mo} + W)] + (16 \times \%N)$ 。

[0078] 304LM4N不锈钢的这个含钨变体专门调配为具有下列组成:

[0079] (i) 铬含量 $\geq 17.50\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 20.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 18.25\text{wt}\%Cr$;

[0080] (ii) 钼含量 $\leq 2.00\text{wt}\%Mo$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%Mo$ 且更优选地 $\geq 1.0\text{wt}\%Mo$;

[0081] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$;和

[0082] (iv) 钨含量 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。

[0083] 304LM4N不锈钢的含钨变体具有高规定水平的氮且 $\text{PRE}_{\text{NW}} \geq 27$,但优选地 $\text{PRE}_{\text{NW}} \geq 32$ 。应当强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。钨可以单独添加,或者连同铜、钒、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高该合金的总体腐蚀性能。钨是极其昂贵的,因此被有目的地限制钨以优化合金的经济性,而同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0084] 钒(V)

[0085] 304LM4N不锈钢的钒含量为 $\leq 0.50\text{wt}\%V$,但优选地 $\geq 0.10\text{wt}\%V$ 且 $\leq 0.50\text{wt}\%V$ 且更优选地 $\leq 0.30\text{wt}\%V$ 。钒可以单独添加,或者连同铜、钨、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高该合金的总体腐蚀性能。钨是昂贵的,因此被有目的地限制钨以优化合金的经济性,而同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0086] 碳(C)

[0087] 对于某些应用,304LM4N高强度奥氏体不锈钢的其他变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,304LM4N不锈钢的碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。304LM4N高强度奥氏体不锈钢的这些特定变体可以分别视为304HM4N或304M4N版本。

[0088] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0089] 此外,对于某些应用,304HM4N或304M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$,或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。

[0090] (i) 它们包括被称为304HM4NTi或304M4NTi的钛稳定化版本,以与一般304LM4N不锈钢版本形成对比。

[0091] 根据下列公式控制钛含量:

[0092] 分别为 $Ti_4 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,或 $Ti_5 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0093] (ii) 也有铌稳定化的304HM4NNb或304M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0094] 分别为Nb $8 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb最大值,或Nb $10 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0095] (iii)另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的304HM4NNbTa或304M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:Nb+Ta $8 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值,或Nb+Ta $10 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值。

[0096] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0097] 304LM4N不锈钢的锻造版和铸造版以及本文所讨论的其他变体和实施例通常在固溶退火条件下被提供。然而,制造的部件、组件及构造物的焊接件通常在焊态条件下被提供,条件是适当的焊接工艺评定(Weld Procedure Qualifications)已根据各自的标准和规范通过资格预审。对于特定应用的锻造版也可以在冷加工条件下被提供。

[0098] 所提出的合金元素以及他们的组成的作用

[0099] 不锈钢的最重要的性质之一通常为他们的抗腐蚀性,没有抗腐蚀性,他们可以得到很少的工业应用,因为在很多实例中,他们的机械性能可以被成本更低的材料所敌过。

[0100] 合金元素含量的改变是可取的以建立吸引人的抗腐蚀性特征,该改变能够对不锈钢的冶金学有显著影响。因此,这能够影响可实际使用的物理和机械特征。某些可取性能比如高强度、延性及韧性的建立依赖于微观结构的控制,而这可能限制可达到的抗腐蚀性。能够沉淀并在沉淀物周围给出铬和钼的贫化区的固溶体中的合金元素、硫化锰夹杂物以及各相区,都能对微观结构、合金的机械性能以及钝态的保持或破坏有重大影响。

[0101] 因此,得到合金中元素的最优组成以使合金具有良好的机械强度性能、优异的延性和韧性以及良好的可焊性和抗全面性及抗局部腐蚀性是极具挑战性的。考虑到构成合金组成的冶金变量的复杂阵列以及各个变量如何影响钝态、微观结构和机械性能,情况尤为如此。也有必要把这些知识并入到新合金开发项目、制造和热处理计划。在下面的段落中,讨论如何优化合金的各个元素以实现上述性能。

[0102] 铬的作用

[0103] 不锈钢从含铬合金中得到他们的钝化特性。含铬的合金铁使初始钝化电位向正(noble)方向移动。这又导致扩大了钝化电位范围并减小了钝化电流密度 i_{pass} 。在氯化物溶液中,增加不锈钢的铬含量提高了点蚀电位 E_p 因而扩大了钝化电位范围。铬因此增加了抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性以及抗全面腐蚀性。铁素体形成元素铬的增加可以通过增加镍和其他奥氏体形成元素比如氮、碳和锰来平衡,以主要保持奥氏体微观结构。然而,已经发现铬连同钼和硅可能增加金属间相和有害沉淀物沉淀的趋势。因此,实际上,可在不增加金属间相在厚的部分形成速率的情况下,增加铬的水平,该水平有个最大限度,这反过来可能导致合金的延性、韧性及腐蚀性能降低。该304LM4N不锈钢已专门调配为具有铬含量 $\geq 17.50\text{wt}\%\text{Cr}$ 且 $\leq 20.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 以实现最优结果。优选地,铬含量为 $\geq 18.25\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

[0104] 镍的作用

[0105] 已经发现镍使点蚀电位 E_p 向正方向移动,因此扩大了钝化电位范围且也减少了钝

化电流密度 i_{pass} 。镍因而提高了奥氏体不锈钢的抗局部腐蚀性和抗全面腐蚀性。镍是奥氏体形成元素并且镍、锰、碳和氮的水平在第一实施例中优化以平衡铁素体形成元素比如铬、钼和硅以主要保持奥氏体微观结构。镍是极其昂贵的,因此被有目的地限制以优化合金的经济性,同时优化合金的延性、韧性和腐蚀性能。该304LM4N不锈钢已专门调配为具有镍含量 $\geq 8.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 且 $\leq 12.00\text{wt}\%\text{Ni}$, 但优选地 $\leq 11.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 且更优选地 $\leq 10.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

[0106] 钼的作用

[0107] 在铬含量的特定水平,已经发现钼对奥氏体不锈钢的钝化具有强烈的有利影响。钼的添加使点蚀电位向正方向移动,因此扩大了钝化电位范围。增加钼含量也降低了 i_{max} , 因而钼提高了在氯化物环境下的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。钼也提高了在含氯化物环境下的耐氯化物应力腐蚀开裂。钼是铁素体形成元素,且钼的水平与铬和硅的水平一起被优化以平衡奥氏体形成元素比如镍、锰、碳和氮以主要保持奥氏体微观结构。然而,钼连同铬和硅可能增加金属间相和有害沉淀物沉淀的趋势。在钼的较高水平,经历宏观偏析是有可能的,尤其是在铸件和初级产品中,这可能会进一步增加这种金属间相和有害沉淀物的动力学。有时其他元素比如钨可能会被引入到热物中以降低合金所需的钼的相对量。因此,特别地,在不增加金属间相在厚的部分形成速率的情况下,可以增加钼的水平,该水平有个最大限度,这反过来可能导致合金的延性、韧性及腐蚀性能降低。该304LM4N不锈钢已专门调配为具有钼含量 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Mo}$, 但优选地 $\geq 0.05\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且更优选地 $\geq 1.0\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

[0108] 氮的作用

[0109] 在第一实施例(以及之后的实施例)中,奥氏体不锈钢的局部腐蚀性能的一个最显著的提高是通过增加氮的水平获得的。氮提高了点蚀电位 E_p 因而扩大了钝化电位范围。氮改进了钝化保护膜以提高对钝化破坏的保护。已经报道¹,使用俄歇电子能谱在金属-钝化膜界面的金属侧发现了高氮浓度。氮以及碳是极其强烈的奥氏体形成元素。同样地,锰和镍也是奥氏体形成元素,尽管在较小程度上。奥氏体形成元素比如氮和碳、以及锰和镍在这些实施例中都被优化以平衡铁素体形成元素比如铬、钼和硅以主要保持奥氏体微观结构。因此,由于在奥氏体中扩散速率比较缓慢,氮间接限制了形成金属间相的倾向。因而降低了金属间相形成的动力学。同样地,考虑到奥氏体具有良好的氮溶解度的事实,这意味着在焊接周期期间在焊接件的焊接金属和热影响区形成有害沉淀物比如 M_2X (碳氮化物、氮化物、硼化物、硼氮化物或硼碳化物)以及 M_{23}C_6 碳化物的可能性降低。固溶体中的氮主要负责提高304LM4N不锈钢的机械强度性能,同时确保奥氏体微观结构以优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。然而,在熔化阶段和固溶体二者中,氮均有有限的溶解度。304LM4N不锈钢已专门调配为具有氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$, 但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$, 更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$, 更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。

[0110] 锰的作用

[0111] 锰是奥氏体形成元素,且实施例中锰、镍、碳和氮的水平都被优化以平衡铁素体形成元素比如铬、钼和硅以主要保持奥氏体微观结构。因此,较高水平的锰间接允许碳和氮在熔化阶段和固溶体二者中均有较高溶解度,以减少有害沉淀物比如 M_2X (碳氮化物、氮化物、硼化物、硼氮化物或硼碳化物)以及 M_{23}C_6 碳化物的风险。因此,提高锰的浓度至特定水平以提高氮的固溶度会导致奥氏体不锈钢的局部腐蚀性能提高。锰也是比镍更具成本效益的元

素,可以使用至某一水平以限制合金中利用的镍的量。然而,可以成功使用的锰水平具有有限度,这是由于锰水平可能导致硫化锰夹杂物(其是点蚀开始的有利位置)的形成,因而对奥氏体不锈钢的局部腐蚀性能具有不利影响。锰也增加了金属间相以及有害沉淀物的沉淀趋势。因此,特别地,在不增加金属间相在厚的部分形成速率的情况下,可以增加锰的水平,该水平有个最大限度,这反过来可能导致合金的延性、韧性及腐蚀性能降低。该304LM4N不锈钢已专门调配为具有锰含量 $\geq 1.00\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Mn}$,但优选地具有锰含量 $\geq 1.20\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%\text{Mn}$ 。锰含量可以被控制以确保锰比氮的比率为 ≤ 5.0 ,但优选地 ≥ 1.42 且 ≤ 5.0 。更优选地,对于低锰范围的合金,该比率为 ≥ 1.42 且 ≤ 3.75 。锰含量的特征可以为:合金中包含 $\geq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 4.0\text{wt}\%\text{Mn}$,但优选地 $\leq 3.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且更优选地 $\leq 2.50\text{wt}\%\text{Mn}$,其中Mn比N比率为 ≤ 10.0 ,但优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 10.0 。更优选地该比率为 ≥ 2.85 且 ≤ 7.50 ,对于高锰范围的合金甚至更优选地为 ≥ 2.85 且 ≤ 6.25 。

[0112] 硫、氧和磷的作用

[0113] 杂质比如硫、氧和磷可能对奥氏体不锈钢的机械性能和抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性及抗全面腐蚀性具有负面影响。这是因为特定水平下的硫连同锰促进了硫化锰夹杂物的形成。另外,特定水平下的氧连同铝或硅促进了氧化物夹杂物比如 Al_2O_3 或 SiO_2 的形成。这些夹杂物是点蚀开始的有利位置,因而对奥氏体不锈钢的局部腐蚀性能、延性和韧性具有不利影响。同样地,磷促进了有害沉淀物(其是点蚀开始的有利位置)的形成,这对合金的抗点蚀和抗缝隙腐蚀以及其延性和韧性具有不利影响。另外,硫、氧和磷对锻造奥氏体不锈钢的热加工性以及对热裂纹和冷裂纹(尤其是在奥氏体不锈钢的铸件中和焊接件的焊接金属中)的灵敏性具有不利影响。特定水平下的氧也会导致奥氏体不锈钢铸件中的孔隙。在经历高周期负载的铸造组件内,这可能产生潜在的裂纹初始位置。因此,利用了现代熔化技术比如电弧熔炼、感应熔炼和真空吹氧脱碳或氩氧脱碳连同其他二次重熔技术比如电渣重熔或真空电弧重熔以及其他精炼技术,以确保得到极为低的硫、氧和磷含量,从而提高锻造不锈钢的热加工性,以及降低对热裂纹和冷裂纹的灵敏性以及减少特别在铸件和在焊接件的焊接金属中的孔隙。现代熔化技术也导致夹杂物水平降低。这提高了奥氏体不锈钢的清洁度和因此的延性和韧性以及整体腐蚀性能。这种304LM4N不锈钢已专门调配为具有硫含量 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{S}$,但优选地具有硫含量为 $\leq 0.005\text{wt}\%\text{S}$ 且更优选地 $\leq 0.003\text{wt}\%\text{S}$ 且甚至更优选地 $\leq 0.001\text{wt}\%\text{S}$ 。氧含量是尽可能低且被控制到 $\leq 0.070\text{wt}\%\text{O}$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{O}$,且更优选地 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{O}$,且甚至更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{O}$,且甚至进一步更优选地 $\leq 0.005\text{wt}\%\text{O}$ 。磷含量被控制到 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{P}$,但优选地 $\leq 0.025\text{wt}\%\text{P}$,且更优选地 $\leq 0.020\text{wt}\%\text{P}$,且甚至更优选地 $\leq 0.015\text{wt}\%\text{P}$,且甚至进一步更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{P}$ 。

[0114] 硅的作用

[0115] 硅使点蚀电位向正方向移动,因此扩大了钝化电位范围。硅也提高了不锈钢制作期间熔体的流动性。同样地,硅提高了焊接周期期间热焊接金属的流动性。硅是铁素体形成元素,而且硅的水平连同铬和钼的水平被优化以平衡奥氏体形成元素比如镍、锰、碳和氮以主要保持奥氏体微观结构。在 $0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 和 $2.00\text{wt}\%\text{Si}$ 范围内的硅含量可以提高对较高温度应用的抗氧化性。然而,超过大约 $1.0\text{wt}\%\text{Si}$ 的硅含量,连同铬和钼可以增加金属间相和有害沉淀物沉淀的趋势。因此,特别地,在不增加金属间相在厚部分形成速率的情况下,可以增加硅的水平,该水平有个最大限度,这反过来可能导致合金的延性、韧性及腐蚀性能降低。

这种304LM4N不锈钢已专门调配为具有硅含量 $\leq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$,但优选地 $\geq 0.25\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{Si}$ 。硅含量的特征可以为:对于需要提高抗氧化性的特殊较高温应用,合金包含 $\geq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Si}$ 。

[0116] 碳的作用

[0117] 碳以及氮是极其强烈的奥氏体形成元素。类似地,锰和镍也是奥氏体形成元素,尽管在较小程度上。奥氏体形成元素比如碳和氮、以及锰和镍的水平被优化以平衡铁素体形成元素比如铬、钼和硅以主要保持奥氏体微观结构。因此,由于奥氏体中扩散速率比较低,碳间接限制了形成金属间相的倾向。因而,降低了金属间相形成的动力学。同样地,考虑到奥氏体对碳具有良好溶解度的事实,这意味着在焊接周期期间在焊接件的焊接金属和热影响区形成有害沉淀物比如 M_2X (碳氮化物、氮化物、硼化物、硼氮化物或硼碳化物)以及 M_{23}C_6 碳化物的可能性降低。固溶体中的碳和氮主要负责提高304LM4N不锈钢的机械强度性能,同时确保奥氏体微观结构以优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。碳含量一般被限制到 $0.030\text{wt}\%\text{C}$ 最大值以优化性能,而且也为了确保锻造奥氏体不锈钢的良好的热加工性。这种304LM4N不锈钢已专门调配为具有碳含量 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{C}$ 最大值,但优选地 $\geq 0.020\text{wt}\%\text{C}$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{C}$ 且更优选地 $\leq 0.025\text{wt}\%\text{C}$ 。在某些应用中,较高碳含量 $\geq 0.040\text{wt}\%\text{C}$ 且 $< 0.10\text{wt}\%\text{C}$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{C}$ 或 $> 0.030\text{wt}\%\text{C}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%\text{C}$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%\text{C}$,这些应用是令人满意的,304LM4N不锈钢的特殊变体,即分别为304HM4N或304M4N也已经被有目的地配制。

[0118] 硼、铈、铝、钙和镁的作用

[0119] 通过引入离散量的其他元素比如硼或铈提高不锈钢的热加工性。如果不锈钢包含铈,它也有可能包含其他稀有金属(REM)比如镧,因为REM通常作为混合稀土金属(Mischmetal)被供应给不锈钢制造商。一般而言,对于不愿意有意添加硼到热物中的工厂,存在于不锈钢中的硼的典型残留水平为 $\geq 0.0001\text{wt}\%\text{B}$ 且 $\leq 0.0006\text{wt}\%\text{B}$ 。该304LM4N不锈钢可以在不添加硼的情况下被制造。或者,该304LM4N不锈钢可以被制造为明确具有硼含量 $\geq 0.001\text{wt}\%\text{B}$ 且 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{B}$,但优选地 $\geq 0.0015\text{wt}\%\text{B}$ 且 $\leq 0.0035\text{wt}\%\text{B}$ 。硼对热加工性的有益影响起因于确保硼保留在固溶体中。因此,有必要确保有害沉淀物比如 M_2X (硼化物、硼氮化物或硼碳化物)不会在制造和热处理周期期间在基体材料晶界处的微观结构中沉淀或者在焊接周期期间在焊接件的焊态焊接金属和热影响区中沉淀。

[0120] 304LM4N不锈钢可以被制造为明确具有铈含量 $\leq 0.10\text{wt}\%\text{Ce}$,但优选地 $\geq 0.01\text{wt}\%\text{Ce}$ 且 $\leq 0.10\text{wt}\%\text{Ce}$,且更优选地 $\geq 0.03\text{wt}\%\text{Ce}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%\text{Ce}$ 。铈在不锈钢中形成铈氧硫化物以提高热加工性,但在特定的水平,这不会对材料的抗腐蚀性有不利影响。在某些应用中,较高的碳含量 $\geq 0.04\text{wt}\%\text{C}$ 且 $< 0.10\text{wt}\%\text{C}$ 、但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{C}$,或 $> 0.030\text{wt}\%\text{C}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%\text{C}$ 、但优选地 $< 0.040\text{wt}\%\text{C}$ 是可取的,对于这些应用,304LM4N不锈钢的变体也可以被制造为明确具有硼含量 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{B}$ 、但优选地 $\geq 0.001\text{wt}\%\text{B}$ 且 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{B}$ 、且更优选地 $\geq 0.0015\text{wt}\%\text{B}$ 且 $\leq 0.0035\text{wt}\%\text{B}$,或铈含量 $\leq 0.10\text{wt}\%\text{Ce}$ 、但优选地 $\geq 0.01\text{wt}\%\text{Ce}$ 且 $\leq 0.10\text{wt}\%\text{Ce}$ 、且更优选地 $\geq 0.03\text{wt}\%\text{Ce}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%\text{Ce}$ 。应该注意的是,稀土金属可以单独利用,或作为混合稀土金属一起利用,该混合稀土金属提供的REM总量符合本文规定的Ce的水平。该304LM4N不锈钢可以被制造为明确包含铝、钙和/或镁。这些元素可以被添加到脱氧和/或脱硫不锈钢中以提高材料的清洁度以及热加工性。相关情况下铝含量通常被控制到具有铝含

量 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{Al}$ 、但优选地 $\geq 0.005\text{wt}\%\text{Al}$ 且 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{Al}$ 、且更优选地 $\geq 0.010\text{wt}\%\text{Al}$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{Al}$ 以抑制氮化物的析出。类似地,钙和/或镁含量通常被控制到具有含量 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{Ca}$ 和/或 Mg 的 Ca 和/或 Mg ,但优选地 $\geq 0.001\text{wt}\%\text{Ca}$ 和/或 Mg 且 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{Ca}$ 和/或 Mg ,且更优选地 $\geq 0.001\text{wt}\%\text{Ca}$ 和/或 Mg 且 $\leq 0.005\text{wt}\%\text{Ca}$ 和/或 Mg 以限制熔体中炉渣形成的量。

[0121] 其他变体

[0122] 对于某些应用,304LM4N不锈钢的其他变体可以被调配以制造为包含特定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。类似地,在某些应用中,较高碳含量 $\geq 0.040\text{wt}\%\text{C}$ 且 $< 0.10\text{wt}\%\text{C}$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{C}$ 或 $> 0.030\text{wt}\%\text{C}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%\text{C}$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%\text{C}$ 是可取的,对于这些应用,304LM4N不锈钢的特定变体,即分别为304HM4N或304M4N,已经被有意调配。此外,在某些应用中,较高碳含量 $\geq 0.040\text{wt}\%\text{C}$ 且 $< 0.10\text{wt}\%\text{C}$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{C}$ 或 $> 0.030\text{wt}\%\text{C}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%\text{C}$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%\text{C}$ 是可取的,对于这些应用,304HM4N或304M4N不锈钢的特定变体,即钛稳定化的304HM4NTi或304M4NTi,铌稳定化的304HM4NNb或304M4NNb和铌加钽稳定化的304HM4NNbTa或304M4NNbTa合金也已经被有意调配。合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可以在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化用于期望有更高碳含量的某些应用的合金。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0123] 铜的作用

[0124] 铜的添加对不锈钢在非氧化性介质中的抗腐蚀性的有益影响是众所周知的。如果添加大约 $0.50\text{wt}\%\text{Cu}$,在沸腾盐酸中的活性溶解率和在氯化物溶液中的缝隙腐蚀损失都降低。已经发现,随着铜添加到 $1.50\text{wt}\%\text{Cu}$,在硫酸中的抗全面腐蚀性也提高了²。铜以及镍、锰、碳和氮是奥氏体形成元素。因此,铜能够提高不锈钢的局部腐蚀和全面腐蚀性能。铜和其他奥氏体形成元素的水平被优化以平衡铁素体形成元素比如铬、钼和硅以主要保持奥氏体微观结构。因此,304LM4N不锈钢的变体已被明确选择以具有铜含量 $\leq 1.50\text{wt}\%\text{Cu}$ 、但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%\text{Cu}$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%\text{Cu}$ 、且对于较低铜范围的合金更优选地为 $\leq 1.00\text{wt}\%\text{Cu}$ 。304LM4N铜含量的特征可以为:合金中包括 $\leq 3.50\text{wt}\%\text{Cu}$,但优选地 $\geq 1.50\text{wt}\%\text{Cu}$ 且 $\leq 3.50\text{wt}\%\text{Cu}$ 、且对于较高铜范围合金更优选地 $\leq 2.50\text{wt}\%\text{Cu}$ 。

[0125] 铜可以单独添加,或连同钨、钒、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。铜是昂贵的,因而被有目的地限制以优化合金的经济性,而同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0126] 钨的作用

[0127] 钨和钼在周期表中占据类似的位置且对抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性具有类似的效力和影响。在铬和钼含量的特定水平下,钨对奥氏体不锈钢的钝化具有强烈的有益影响。钨的添加使点蚀电位向更正方向移动,因而扩大了钝化电位范围。增加钨含量也减小了钝化电流密度 i_{pass} 。钨存在于钝化层并在没有氧化态改性时被吸附³。在酸性氯化物溶液中,钨可能直接从金属通过到钝化膜,通过与水相互作用并形成不溶性 WO_3 ,而不是通过脱附然后吸附的过程。在中性氯化物溶液中,钨的有益影响解释为通过 WO_3 与其他氧化物相互

作用,导致提高稳定性和提高氧化层到基体材料的键合。钨提高了在氯化物环境中的抗全面腐蚀性和抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。钨也提高了在含氯化物环境下的耐氯化物应力腐蚀开裂。钨是铁素体形成元素且钨以及铬、钼和硅的水平被优化以平衡奥氏体形成元素比如镍、锰、碳和氮以主要保持奥氏体微观结构。然而,钨以及铬、钼和硅可能增加金属间相和有害沉淀物析出的趋势。因此,实际上,在不增加金属间相在厚的部分形成速率的情况下,有个钨的最大限度水平可以增加,这反过来可能导致合金的延性、韧性及腐蚀性能降低。因此,304LM4N不锈钢的变体已专门调配为具有钨含量 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.05\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。钨可以单独添加,或以及铜、钒、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高合金的整体腐蚀性能。钨是极其昂贵的,因而有目的地限制以优化合金的经济性,同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0128] 钒的作用

[0129] 在铬和钼含量的特定水平,钒对于奥氏体不锈钢的钝化具有强烈的有益影响。钒的添加使点蚀电位向更正方向移动,因而扩大了钝化电位范围。增加钒的含量也降低了 $i_{\max}$ 因而钒以及钼提高了在氯化物环境中的抗全面腐蚀性和抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。钒以及钼也可以提高了在含氯化物环境下的耐氯化物应力腐蚀开裂。然而,钒以及铬、钼和硅可能增加金属间相和有害沉淀物析出的趋势。钒具有形成有害沉淀物比如 M_2X (碳氮化物、氮化物、硼化物、或硼碳化合物)以及 $M_{23}C_6$ 碳化物的强烈趋势。因此,实际上,在不增加金属间相在厚的部分形成速率的情况下,有个钒的最大限度水平可以增加。在焊接周期期间,钒也增加在焊接件的焊接金属和热影响区形成这种有害沉淀物的倾向。这种金属间相和有害沉淀物可能反过来导致合金的延性、韧性及腐蚀性能降低。因此,304LM4N不锈钢的变体已专门调配为具有钒含量 $\leq 0.50\text{wt}\%V$,但优选地 $\geq 0.10\text{wt}\%V$ 且 $\leq 0.50\text{wt}\%V$ 且更优选地 $\leq 0.30\text{wt}\%V$ 。钒可以单独添加,或以及铜、钨、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高合金的整体腐蚀性能。钒是昂贵的,因而有目的地限制以优化合金的经济性,同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0130] 钛、铌和铌加钽的作用

[0131] 在某些应用中,较高碳含量 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$ 、但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$,或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$ 、但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 是可取的,对于这些应用,304HM4N或304M4N不锈钢的特定变体,即304HM4NTi或304M4NTi已被有目的地调配为具有根据下列公式的钛含量:分别为 $Ti4 \times C$ 最小、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大或 $Ti5 \times C$ 最小、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大,以具有合金的钛稳定化衍生物。合金的钛稳定化变体可以在低于初始固溶热处理温度的温度下给予稳定化热处理。钛可以单独添加,或连同铜、钨、钒和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0132] 同样地,在某些应用中,较高碳含量 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$ 、但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$,或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$ 、但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 是可取的,对于这些应用,304HM4N或304M4N不锈钢的特定变体已被有目的地调配为具有根据下列公式的铌含量:分别为 $Nb8 \times C$ 最小、 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大,或 $Nb10 \times C$ 最小、 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大,以具有合金的铌稳定化衍生物。另外,合金的其他变体也被制造以包含铌加钽稳定化的304HM4NNbTa或304M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量: $Nb+Ta8 \times C$ 最小、 $1.0\text{wt}\%Nb+Ta$ 最大、 $0.10\text{wt}\%Ta$ 最

大,或Nb+Ta $10\times C$ 最小、1.0wt%Nb+Ta最大、0.10wt%Ta最大。合金的铌稳定化和铌加钽稳定化变体可以在低于初始固溶热处理温度的温度下给予稳定化热处理。铌和/或铌加钽可以单独添加,或连同铜、钨、钒和/或钛这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0133] 耐点蚀当量

[0134] 从前述内容很显然地看出不锈钢中的多个合金元素使点蚀电位向方向移动。这些有益效果是复杂的、相互影响的,并且已经做了很多尝试来使用从组成上得来的耐点蚀指标的经验关系。被最普遍接受的用于计算耐点蚀当量公式为:

[0135] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ 。

[0136] 人们普遍认识到,本文所描述的这种合金的 PRE_N 值小于40,可以被归类为“奥氏体”不锈钢。而本文所描述的这种合金的 PRE_N 值大于或等于40,可以被归类为“超级奥氏体”不锈钢,反映了他们优越的抗全面腐蚀性和抗局部腐蚀性。这种304LM4N不锈钢已专门调配为具有下列组成:

[0137] (i) 铬含量 $\geq 17.50\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 20.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 18.25\text{wt}\%Cr$,

[0138] (ii) 钼含量 $\leq 2.00\text{wt}\%Mo$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%Mo$ 且更优选地 $\geq 1.0\text{wt}\%Mo$

[0139] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$ 。

[0140] 该304LM4N不锈钢具有高规定水平的氮且 $PRE_N \geq 25$,但优选地 $PRE_N \geq 30$ 。因此,该304LM4N不锈钢具有高机械强度性能与优异延性和韧性、以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性和抗局部腐蚀性的独特组合。关于完全孤立利用这个公式,有所保留。该公式没有考虑提高点蚀性能的其他元素比如钨的有益影响。对于包含钨的304LM4N不锈钢变体,使用该公式计算耐点蚀当量: $PRE_{Nw} = \%Cr + [3.3 \times (\%Mo + \%W)] + (16 \times \%N)$ 。人们普遍认识到,本文所描述的这种合金的 PRE_{Nw} 值小于40,可以被归类为“奥氏体”不锈钢。而本文所描述的 PRE_{Nw} 值大于或等于40的那种合金,可以被归类为“超级奥氏体”不锈钢,反映了他们优越的抗全面腐蚀性和抗局部腐蚀性。这种304LM4N不锈钢的含钨变体已专门调配为具有下列组成:

[0141] (i) 铬含量 $\geq 17.50\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 20.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 18.25\text{wt}\%Cr$,

[0142] (ii) 钼含量 $\leq 2.00\text{wt}\%Mo$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%Mo$ 且更优选地 $\geq 1.0\text{wt}\%Mo$,

[0143] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$

[0144] (iv) 钨含量 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。

[0145] 304LM4N不锈钢的含钨变体具有高规定水平的氮且 $PRE_{Nw} \geq 27$,但优选地 $PRE_{Nw} \geq 32$ 。应当强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0146] 奥氏体微观结构

[0147] 第一实施例的304LM4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化,以主要确保基体材料在通常在1100摄氏度到1250摄氏度范围内进行的固溶热处理及随后的水淬火之后具

有奥氏体微观结构。

[0148] 在固溶热处理条件下的304LM4N基体材料的微观结构,以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,如上所述,以主要确保合金为奥氏体。

[0149] 稳定铁素体和奥氏体相的元素的相对有效性可以根据他们的[Cr]和[Ni]当量来表示。已经使用Schaeffler⁴提出的用于预测焊接金属结构的方法说明了使用[Cr]和[Ni]当量的联合影响。Schaeffler⁴图表严格地只适用于快速铸造和冷却合金,比如焊接件或冷硬铸件(chill castings)。然而,Schaeffler⁴图表也可以给出“母质”材料(‘parent’ materials)的相平衡指示。根据用他们的[Cr]和[Ni]当量表示的他们的化学组成,Schaeffler⁴预测快速冷却形成的不锈钢焊接金属的结构。Schaeffler⁴图表使用根据下列公式的[Cr]和[Ni]当量:

$$[0150] \quad [\text{Cr}] \text{ 当量} = \text{wt}\% \text{Cr} + \text{wt}\% \text{Mo} + 1.5 \times \text{wt}\% \text{Si} + 0.5 \times \text{wt}\% \text{Nb} \quad (1)$$

$$[0151] \quad [\text{Ni}] \text{ 当量} = \text{wt}\% \text{Ni} + 30 \times \text{wt}\% \text{C} + 0.5 \times \text{wt}\% \text{Mn} \quad (2)$$

[0152] 然而,Schaeffler⁴图表没有考虑到氮在稳定奥氏体中的重大影响。因此,Schaeffler⁴图表已由DeLong⁵修正以把作为奥氏体形成元素的氮的重要影响并入。DeLong⁵图表使用和Schaeffler⁴在公式(1)中使用的相同的[Cr]当量公式。然而,[Ni]当量根据下列公式已进行修正:

$$[0153] \quad [\text{Ni}] \text{ 当量} = \text{wt}\% \text{Ni} + 30 \times \text{wt}\% (\text{C} + \text{N}) + 0.5 \times \text{wt}\% \text{Mn} \quad (3)$$

[0154] 这个DeLong⁵图表显示了根据磁性确定的铁素体含量的铁素体含量和焊接研究委员会(Welding Research Council,WRC)铁素体数(Ferrite number)。铁素体数和铁素体百分比(即>6%的铁素体的值)之间的区别与磁性测量中使用的WRC校准程序和校准曲线有关。Schaeffler⁴图表与DeLong⁵修正的Schaeffler⁴图表的比较表明,对于给定的[Cr]当量和[Ni]当量,DeLong⁵图表预测的铁素体含量较高(即大约高出5%)。

[0155] Schaeffler⁴图表和DeLong⁵图表都主要是为焊接件而开发的,因而不严格应用于“母质”材料。然而,他们确实提供了对可能存在的相的良好指示,并给出不同合金元素的相对影响的有价值的信息。

[0156] Schoefer⁶已经说明可以使用Schaeffler⁴图表的修正版本描述铸件中的铁素体数。这已经通过变换Schaeffler⁴图表的坐标而实现,该坐标变换为以铁素体数或铁素体体积百分比为横轴,如ASTM在A800/A800M-10⁷中采用的。竖轴表示为[Cr]当量除以[Ni]当量的比率。Schoefer⁶也根据下列公式修正了[Cr]当量因子和[Ni]当量因子:

$$[0157] \quad [\text{Cr}] \text{ 当量} = \text{wt}\% \text{Cr} + 1.5 \times \text{wt}\% \text{Si} + 1.4 \times \text{wt}\% \text{Mo} + \text{wt}\% \text{Nb} - 4.99 \quad (4)$$

$$[0158] \quad [\text{Ni}] \text{ 当量} = \text{wt}\% \text{Ni} + 30 \times \text{wt}\% \text{C} + 0.5 \times \text{wt}\% \text{Mn} + 26 \times \text{wt}\% (\text{N} - 0.02) + 2.77 \quad (5)$$

[0159] 这也表明,作为铁素体稳定剂的其他元素也有可能影响[Cr]当量因子以在Schoefer⁶采用的这种等式中给出变化(variation)。它们包括下列元素,这些元素已被指定了各自的[Cr]当量因子,其可能与本文中合金包含的变体有关:

元素	[Cr]当量因子
钨	0.72
钒	2.27
钛	2.20
钽	0.21
铝	2.48

[0161] 同样地也表明,作为奥氏体稳定剂的其他元素也有可能影响[Ni]当量因子以在Schoefer⁶采用的这种等式中给出变化。这包括下一元素,这个元素已被指定了各自的[Ni]当量因子,其可能与本文中合金包含的变体有关:

[0162] 元素 [Ni]当量因子

[0163] 铜 0.44

[0164] 然而,ASTM A800/A800M-10⁷规定Schoefer⁶图表仅适用于包含根据下列明确范围的重量百分比的合金元素的不锈钢合金:

[0165] C Mn Si Cr Ni Mo Nb N

[0166] 最小 17.00 4.00

[0167] 最大 0.20 2.00 2.00 28.00 13.00 4.00 1.00 0.20

[0168] 从前述内容可以推断,304LM4N不锈钢中氮含量为 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。这超过了如ASTM A800/A800M-10⁷采用的Schoefer⁶图表的最大限度。尽管如此,在适当情况下,Schoefer⁶图表将给出存在于较高氮含量的奥氏体不锈钢中的铁素体数或铁素体体积百分比的相对比较。

[0169] 氮以及铜是极其强的奥氏体形成元素。类似地,锰和镍也是奥氏体形成元素,尽管较小程度上。奥氏体形成元素比如氮和碳、以及锰和镍的水平被优化以平衡铁素体形成元素比如铬、钼和硅以主要保持奥氏体微观结构。因此,氮间接限制了形成金属间相的倾向,这是由于奥氏体中的扩散速率比较缓慢。因而,金属间相形成的动力学降低。同样地,考虑到奥氏体具有良好的氮溶解度的事实,这意味着在焊接周期期间在焊接件的焊接金属和热影响区中,形成有害沉淀物比如M₂₃X(碳氮化物、氮化物、硼化物、硼氮化物或硼碳化物)以及M₂₃C₆碳化物的可能性降低。如已经讨论的,不锈钢的其他变体也可能包括诸如钨、钒、钛、钽、铝和铜的元素。

[0170] 因此,304LM4N不锈钢已被专门开发以主要确保基体材料在固溶热处理条件下以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区中的微观结构为奥氏体。这通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制。因此,304LM4N不锈钢的化学分析在熔化阶段被优化,以确保根据Schoefer⁶,[Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 和 <1.05 范围内,但优选地 ≥ 0.45 且 <0.95 。

[0171] 因此,304LM4N不锈钢表现了环境温度下高强度和延性的独特组合,而同时在环境温度下和低温下保证了优异的韧性。此外,该合金能够被制造并提供为非磁性状态。

[0172] 最佳的化学组成

[0173] 由于前述内容,已经确定304LM4N不锈钢的最佳化学组成范围是选择性的,且按如下重量百分比包括:

[0174] (i) $\leq 0.030\text{wt}\% \text{C}$ 最大值,但优选地 $\geq 0.020\text{wt}\% \text{C}$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\% \text{C}$ 且更优选地 $\leq 0.025\text{wt}\% \text{C}$;

[0175] (ii) $\leq 2.0\text{wt}\% \text{Mn}$,但优选地 $\geq 1.0\text{wt}\% \text{Mn}$ 且 $\leq 2.0\text{wt}\% \text{Mn}$,且更优选地 $\geq 1.20\text{wt}\% \text{Mn}$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\% \text{Mn}$,其中Mn比N的比率 ≤ 5.0 且优选地, ≥ 1.42 且 ≤ 5.0 但对于较低锰范围合金更优选地为 ≥ 1.42 且 ≤ 3.75 ;

[0176] (iii) $\leq 0.030\text{wt}\% \text{P}$,但优选地 $\leq 0.025\text{wt}\% \text{P}$ 且更优选地 $\leq 0.020\text{wt}\% \text{P}$ 且甚至更优选地 $\leq 0.015\text{wt}\% \text{P}$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\% \text{P}$;

[0177] (iv) $\leq 0.010\text{wt}\% \text{S}$,但优选地 $\leq 0.005\text{wt}\% \text{S}$ 且更优选地 $\leq 0.003\text{wt}\% \text{S}$,且甚至更优选地 $\leq 0.001\text{wt}\% \text{S}$;

[0178] (v) $\leq 0.070\text{wt}\% \text{O}$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\% \text{O}$,但更优选地 $\leq 0.030\text{wt}\% \text{O}$,且甚至更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\% \text{O}$,且甚至进一步更优选地 $\leq 0.005\text{wt}\% \text{O}$;

[0179] (vi) $\leq 0.75\text{wt}\% \text{Si}$,但优选地 $\geq 0.25\text{wt}\% \text{Si}$ 且 $\leq 0.75\text{wt}\% \text{Si}$,但更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\% \text{Si}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\% \text{Si}$;

[0180] (vii) $\geq 17.50\text{wt}\% \text{Cr}$ 且 $\leq 20.00\text{wt}\% \text{Cr}$,但优选地 $\geq 18.25\text{wt}\% \text{Cr}$;

[0181] (viii) $\geq 8.00\text{wt}\% \text{Ni}$ 且 $\leq 12.00\text{wt}\% \text{Ni}$,但优选地 $\leq 11\text{wt}\% \text{Ni}$ 且更优选地 $\leq 10\text{wt}\% \text{Ni}$;

[0182] (ix) $\leq 2.00\text{wt}\% \text{Mo}$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\% \text{Mo}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\% \text{Mo}$ 且更优选地 $\geq 1.0\text{wt}\% \text{Mo}$;

[0183] (x) $\leq 0.70\text{wt}\% \text{N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\% \text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\% \text{N}$ 且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\% \text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\% \text{N}$ 且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\% \text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\% \text{N}$ 。

[0184] 304LM4N不锈钢具有高规定水平的氮且 $\text{PRE}_\text{N} \geq 25$,但优选地 $\text{PRE}_\text{N} \geq 30$ 。304LM4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶, $[\text{Cr}]$ 当量除以 $[\text{Ni}]$ 当量的比率在 >0.40 和 <1.05 范围内,但优选地 ≥ 0.45 且 <0.95 。

[0185] 304LM4N不锈钢还包含主要的Fe作为剩余部分,也可能包含非常少量的其他元素比如硼、铈、铝、钙和/或镁以及可能以残留水平存在的其他杂质。304LM4N不锈钢可在不添加硼的情况下被制造,对于不愿意有意添加硼到热物中的工厂,硼的残留水平通常为 $\geq 0.0001\text{wt}\% \text{B}$ 且 $\leq 0.0006\text{wt}\% \text{B}$ 。或者,304LM4N不锈钢可以被制造为明确具有 $\geq 0.001\text{wt}\% \text{B}$ 且 $\leq 0.010\text{wt}\% \text{B}$ 的硼含量,但优选地 $\geq 0.0015\text{wt}\% \text{B}$ 且 $\leq 0.0035\text{wt}\% \text{B}$ 。铈可以被添加为铈含量 $\leq 0.10\text{wt}\% \text{Ce}$,但优选地 $\geq 0.01\text{wt}\% \text{Ce}$ 且 $\leq 0.10\text{wt}\% \text{Ce}$,且更优选地 $\geq 0.03\text{wt}\% \text{Ce}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\% \text{Ce}$ 。如果不锈钢包含铈,它也可能包含其他稀土金属(REM)比如镧,因为REM通常作为混合稀土金属(Mischmetal)被供应给不锈钢制造商。应注意的是,稀土金属可以单独利用、或作为混合稀土金属一起利用,该混合稀土金属提供的REM总量符合本文规定的Ce的水平。铝可以被添加为铝含量 $\leq 0.050\text{wt}\% \text{Al}$,但优选地 $\geq 0.005\text{wt}\% \text{Al}$ 且 $\leq 0.050\text{wt}\% \text{Al}$,且更优选地 $\geq 0.010\text{wt}\% \text{Al}$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\% \text{Al}$ 。钙和/或镁可以被添加为Ca和/或Mg含量 ≥ 0.001 且 $\leq 0.01\text{wt}\% \text{Ca}$ 和/或Mg但优选地 $\leq 0.005\text{wt}\% \text{Ca}$ 和/或Mg。

[0186] 从上述,使用锻造304LM4N不锈钢的应用能够常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定304LM4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S30403和UNS S30453相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造304LM4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,并类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0187] 还应当理解的是,如果锻造304LM4N不锈钢被规定和被利用,这可能导致制造和施工成本的整体节省,因为可以设计较薄壁组件,其比较容易处理且需要较少的制造时间。因此,304LM4N不锈钢可以被利用在要求结构完整性和抗腐蚀性的广泛的工业应用中,尤其适用于海上和陆上的油气应用。

[0188] 广泛用于各种市场和工业领域(比如用于海上浮式液化天然气(Floating Liquefied Natural Gas, FLNG)的船的上部管道系统和的焊接(fabricated)模块)的锻造304LM4N不锈钢是理想的,这由于能够达到显著的重量节省和制造时间的节省,这又导致显著的成本节省。考虑到304LM4N不锈钢的高机械强度性能和延性、以及在环境温度下和低温下具有优异的韧性,它们也能够被规定且可以被用于海上和陆上应用中使用的管道系统,比如用于海上FLNG的船和陆上LNG的工厂的管道系统。

[0189] 除304LM4N奥氏体不锈钢之外,本说明书还提出了被称为316LM4N的第二实施例。

[0190] 316LM4N

[0191] 316LM4N高强度奥氏体不锈钢包含高水平的氮且规定耐点蚀当量 $PRE_N \geq 30$,但优选地 $PRE_N \geq 35$ 。被称为 PRE_N 的耐点蚀当量根据该公式计算:

[0192] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ 。

[0193] 316LM4N不锈钢已经被调配为具有高机械强度性能和优异的延性和韧性、以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性和抗局部腐蚀性的独特组合。316LM4N不锈钢的化学组成是选择性的,且以如下重量(wt)百分比的化学元素的合金为特征:0.030wt%C最大值,2.00wt%Mn最大值,0.030wt%P最大值,0.010wt%S最大值,0.75wt%Si最大值,16.00wt%Cr-18.00wt%Cr,10.00wt%Ni-14.00wt%Ni,2.00wt%Mo-4.00wt%Mo,0.40wt%N-0.70wt%N。

[0194] 316LM4N不锈钢也包括主要的Fe作为剩余部分,且也可能含有非常少量的其他元素,比如0.010wt%B最大值,0.10wt%Ce最大值,0.050wt%Al最大值,0.01wt%Ca最大值和/或0.01wt%Mg最大值以及通常以残留水平存在的其他杂质。316LM4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化,以主要确保基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后具有奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度到1250摄氏度范围内进行。基体材料在固溶热处理条件下的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保合金为奥氏体。因此,316LM4N不锈钢表现出环境温度下的高强度和延性的独特组合,并同时保证了环境温度及低温下的优异韧性。鉴于316LM4N不锈钢的化学分析被调节以保证 $PRE_N \geq 30$ 、但优选地 $PRE_N \geq 35$ 的事实,这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性、及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31603和UNS S31653相比,316LM4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。

[0195] 已确定,316LM4N不锈钢的最优化学组成范围是精心选择的以包括基于第二实施例的如下重量百分比的化学元素:

[0196] 碳(C)

[0197] 316LM4N不锈钢的碳含量为 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 最大值,但优选地 $\geq 0.020\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 且更优选地 $\leq 0.025\text{wt}\%C$ 。

[0198] 锰(Mn)

[0199] 第二实施例的316LM4N不锈钢可以有两种变化形式:低锰或高锰。

[0200] 对于低锰合金,316LM4N不锈钢的锰含量为 $\leq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$,但优选地 $\geq 1.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且更优选地 $\geq 1.20\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%\text{Mn}$ 。通过这种组成,达到了Mn对N的 ≤ 5.0 的最优比率,且优选地, ≥ 1.42 且 ≤ 5.0 。更优选地,该比率为 ≥ 1.42 且 ≤ 3.75 。

[0201] 对于高锰合金,316LM4N的锰含量为 $\leq 4.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。优选地,锰含量为 $\geq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 4.0\text{wt}\%\text{Mn}$,且更优选地上限为 $\leq 3.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。甚至更优选地,上限为 $\leq 2.50\text{wt}\%\text{Mn}$ 。通过这些选择的范围,达到了Mn对N的 ≤ 10.0 的比率,且优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 10.0 。更优选地,对于高锰合金,Mn对N的比率为 ≥ 2.85 且 ≤ 7.50 ,且更优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 6.25 。

[0202] 磷(P)

[0203] 316LM4N不锈钢的磷含量被控制为 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{P}$ 。优选地,该316LM4N合金具有 $\leq 0.025\text{wt}\%\text{P}$ 且更优选地 $\leq 0.020\text{wt}\%\text{P}$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.015\text{wt}\%\text{P}$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{P}$ 。

[0204] 硫(S)

[0205] 316LM4N不锈钢的硫含量为 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{S}$ 。优选地,该316LM4N具有 $\leq 0.005\text{wt}\%\text{S}$ 且更优选地 $\leq 0.003\text{wt}\%\text{S}$,且甚至更优选地 $\leq 0.001\text{wt}\%\text{S}$ 。

[0206] 氧(O)

[0207] 316LM4N不锈钢的氧含量被控制为尽可能低,且在第二实施例中,该316LM4N具有 $\leq 0.070\text{wt}\%\text{O}$ 。优选地,该316LM4N具有 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{O}$ 且更优选地 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{O}$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{O}$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.005\text{wt}\%\text{O}$ 。

[0208] 硅(Si)

[0209] 316LM4N不锈钢的硅含量具有 $\leq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 0.25\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 。更优选地,该范围为 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{Si}$ 。然而,对于需要提高抗氧化性能的较高温度的应用,硅含量可以为 $\geq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Si}$ 。

[0210] 铬(Cr)

[0211] 第一实施例的316LM4N不锈钢的铬含量为 $\geq 16.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 且 $\leq 18.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 17.25\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

[0212] 镍(Ni)

[0213] 316LM4N不锈钢的镍含量为 $\geq 10.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 且 $\leq 14.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。优选地,该合金的Ni的上限为 $\leq 13.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 且更优选地 $\leq 12.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

[0214] 钼(Mo)

[0215] 316LM4N不锈钢的钼含量为 $\geq 2.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。优选地,下限为 $\geq 3.0\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

[0216] 氮(N)

[0217] 316LM4N不锈钢的氮含量为 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$ 。更优选地,该316LM4N具有 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。

[0218] PRE_N

[0219] 耐点蚀当量(PRE_N)使用该公式计算:

[0220] $\text{PRE}_N = \% \text{Cr} + (3.3 \times \% \text{Mo}) + (16 \times \% \text{N})$ 。

[0221] 该316LM4N不锈钢已经明确调配为具有下列组成:

[0222] (i) 铬含量 $\geq 16.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 且 $\leq 18.00\text{wt}\%\text{Cr}$, 但优选地 $\geq 17.25\text{wt}\%\text{Cr}$,

[0223] (ii) 钼含量 $\geq 2.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$, 但优选地 $\geq 3.0\text{wt}\%\text{Mo}$,

[0224] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$, 但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$, 且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$, 且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。

[0225] 通过高水平的氮, 该316LM4N不锈钢达到了 $\text{PRE}_\text{N} \geq 30$, 但优选地 $\text{PRE}_\text{N} \geq 35$ 。这确保了合金在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31603和UNS S31653相比时, 该316LM4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是, 这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0226] 316LM4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶, [Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内, 但优选地 >0.45 且 <0.95 , 以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构, 该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。基体材料在固溶热处理条件下的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制, 以确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0227] 316LM4N不锈钢也具有主要的Fe作为剩余部分, 且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁, 且这些元素的组成与304LM4N中的这些元素的组成相同。换句话说, 关于304LM4N的这些元素的段落也适用于此。

[0228] 根据第二实施例的316LM4N不锈钢, 对于锻造版具有55ksi或380MPa的最小屈服强度。更优选地, 对于锻造版可以达到62ksi或430MPa的最小屈服强度。铸造版具有41ksi或280MPa的最小屈服强度。更优选地, 对于铸造版可以达到48ksi或330MPa的最小屈服强度。基于优选的水平, 316LM4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31603的锻造机械强度性能相比, 表明316LM4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31603的最小屈服强度高2.5倍。类似地, 新颖的和创新的316LM4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31653的锻造机械强度性能相比, 可以表明316LM4N不锈钢的最小屈服强度比规定用于UNS S31653的最小屈服强度高2.1倍。

[0229] 根据第二实施例316LM4N不锈钢对于锻造版具有102ksi或700MPa的最小抗拉强度。更优选地, 对于锻造版可以达到109ksi或750MPa的最小抗拉强度。铸造版具有95ksi或650MPa的最小抗拉强度。更优选地, 对于铸造版可以达到102ksi或700MPa的最小抗拉强度。基于优选值, 316LM4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31603的锻造机械强度性能相比, 可以表明316LM4N不锈钢的最小抗拉强度比规定用于UNS S31603的最小抗拉强度高1.5倍以上。类似地, 316LM4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31653的锻造机械强度性能相比, 可以表明316LM4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31653的最小抗拉强度高1.45倍。实际上, 如果新颖的和创新的316LM4N不锈钢的锻造机械强度性能与22Cr双相不锈钢的锻造机械强度性能相比, 那么可以表明316LM4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于S31803的最小抗拉强度高1.2倍左右, 并类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的最小抗拉强度。因此, 316LM4N不锈钢的最小机械强度性能与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31603和UNS S31653相比已经被显著提高, 并且抗拉强度性能优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉强度性能, 并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉强度性能。

[0230] 这意味着使用锻造316LM4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定316LM4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31603和UNS S31653相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造316LM4N不锈钢的最小容许设计应力可能高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0231] 对于某些应用,316LM4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,316LM4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,且铜和钒的组成与304LM4N的铜和钒的组成一样。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落在此也适用于316LM4N。

[0232] 钨(W)

[0233] 316LM4N不锈钢的钨含量为 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。对于316LM4N不锈钢的含钨变体,耐点蚀当量使用公式计算:

[0234] $\text{PRE}_{\text{NW}} = \%Cr + [3.3 \times \%(\text{Mo} + W)] + (16 \times \%N)$ 。

[0235] 316LM4N不锈钢的这个含钨变体已专门调配为具有下列组成:

[0236] (i) 铬含量 $\geq 16.00\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 18.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 17.25\text{wt}\%Cr$;

[0237] (ii) 钼含量 $\geq 2.00\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 4.00\text{wt}\%Mo$,但优选地 $\geq 3.0\text{wt}\%Mo$;

[0238] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,且优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$;和

[0239] (iv) 钨含量 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。

[0240] 316LM4N不锈钢的含钨变体具有高规定水平的氮且 $\text{PRE}_{\text{NW}} \geq 32$,但优选地 $\text{PRE}_{\text{NW}} \geq 37$ 。应当强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。钨可以单独添加,或者连同铜、钒、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高该合金的总体腐蚀性能。钨是极其昂贵的,因此有目的地限制钨以优化合金的经济性,同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0241] 碳(C)

[0242] 对于某些应用,316LM4N不锈钢的其他变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,316LM4N不锈钢的碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。316LM4N不锈钢的这些特定变体可以分别视为316HM4N或316M4N版本。

[0243] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0244] 此外,对于某些应用,316HM4N或316M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。

[0245] (i) 它们包括被称为316HM4NTi或316M4NTi的钛稳定化版本,以与一般316LM4N不锈钢版本形成对比。根据下列公式控制钛含量:

[0246] 分别为 $Ti_4 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,或 $Ti_5 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0247] (ii) 也有铌稳定化的316HM4NNb或316M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0248] 分别为Nb $8 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb最大值,或Nb $10 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0249] (iii)另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的316HM4NNbTa或316M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0250] Nb+Ta $8 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值,或Nb+Ta $10 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值。

[0251] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0252] 316LM4N不锈钢的锻造版和铸造版以及本文所讨论的其他变体和实施例通常在固溶退火条件下被提供。然而,制造部件、组件及构造物的焊接件通常在焊态条件下被提供,条件是适当的焊接工艺评定已根据各自的标准和规范通过资格预审。对于特定应用的锻造版也可以在冷加工条件下被提供。

[0253] 应当理解的是,如关于304LM4N所讨论的各种元素以及他们组成的作用也适用于316LM4N(以及以下讨论的各个实施例)以了解如何得到316LM4N不锈钢(以及其余的各个实施例)的最优化学组成。

[0254] 除了304LM4N和316LM4N奥氏体不锈钢之外,还提出了进一步的变体,适当地被称为317L57M4N,并且这形成了本发明的第三实施例。

[0255] [317L57M4N]

[0256] 该317L57M4N高强度奥氏体不锈钢具有高水平的氮并且规定耐点蚀当量 $PRE_N \geq 40$,但优选地 $PRE_N \geq 45$ 。被称为 PRE_N 的耐点蚀当量根据该公式计算:

[0257] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ 。

[0258] 317L57M4N不锈钢已经调配为具有高机械强度性能与优异的延性和韧性的独特组合,以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀性。317L57M4N不锈钢的化学组成是选择性的,并以如下重量(wt)百分比的化学元素的合金为特征:0.030wt%C最大值,2.00wt%Mn最大值,0.030wt%P最大值,0.010wt%S最大值,0.75wt%Si最大值,18.00wt%Cr-20.00wt%Cr,11.00wt%Ni-15.00wt%Ni,5.00wt%Mo-7.00wt%Mo,0.40wt%N-0.70wt%N。

[0259] 317L57M4N不锈钢还包括主要的Fe作为剩余部分,也可能含有非常少量的其他元素,比如0.010wt%B最大值,0.10wt%Ce最大值,0.050wt%Al最大值,0.01wt%Ca最大值和/或0.01wt%Mg最大值以及通常以残留水平存在的其他杂质。

[0260] 317L57M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化,以主要确保基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后具有奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保合金为奥氏体。因此,317L57M4N不锈钢表现出环境温度下的高强度和延性的独特组合,并同时达到了环境温度及低温下的优异韧性。鉴于317L57M4N不锈钢的化学分析被调节为达到 $PRE_N \geq 40$ 、但优选地 $PRE_N \geq 45$ 的事实,这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良

好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比,317L57M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。

[0261] 已确定,317L57M4N不锈钢的最优化学组成范围是精心选择的以包括基于第三实施例的如下重量百分比的化学元素:

[0262] 碳(C)

[0263] 317L57M4N不锈钢的碳含量为 $\leq 0.030\text{wt}\% \text{C}$ 最大值。优选地,碳的含量应该为 $\geq 0.020\text{wt}\% \text{C}$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\% \text{C}$ 且更优选地 $\leq 0.025\text{wt}\% \text{C}$ 。

[0264] 锰(Mn)

[0265] 第三实施例的317L57M4N不锈钢可以有两种变化形式:低锰或高锰。

[0266] 对于低锰合金,317L57M4N不锈钢的锰含量为 $\leq 2.0\text{wt}\% \text{Mn}$ 。优选地,范围为 $\geq 1.0\text{wt}\% \text{Mn}$ 且 $\leq 2.0\text{wt}\% \text{Mn}$,且更优选地 $\geq 1.20\text{wt}\% \text{Mn}$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\% \text{Mn}$ 。通过这种组成,达到了Mn对N的 ≤ 5.0 的最优比率,且优选地, ≥ 1.42 且 ≤ 5.0 。更优选地,该比率为 ≥ 1.42 且 ≤ 3.75 。

[0267] 对于高锰合金,317L57M4N的锰含量为 $\leq 4.0\text{wt}\% \text{Mn}$ 。优选地,锰含量为 $\geq 2.0\text{wt}\% \text{Mn}$ 且 $\leq 4.0\text{wt}\% \text{Mn}$,且更优选地,上限为 $\leq 3.0\text{wt}\% \text{Mn}$ 。甚至更优选地,上限为 $\leq 2.50\text{wt}\% \text{Mn}$ 。通过这些选择的范围,达到了Mn对N的 ≤ 10.0 的比率,且优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 10.0 。更优选地,对于高锰合金,Mn对N的比率为 ≥ 2.85 且 ≤ 7.50 ,且更优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 6.25 。

[0268] 磷(P)

[0269] 317L57M4N不锈钢的磷含量被控制为 $\leq 0.030\text{wt}\% \text{P}$ 。优选地,该317L57M4N合金具有 $\leq 0.025\text{wt}\% \text{P}$ 且更优选地 $\leq 0.020\text{wt}\% \text{P}$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.015\text{wt}\% \text{P}$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\% \text{P}$ 。

[0270] 硫(S)

[0271] 第三实施例的317L57M4N不锈钢的硫含量包括 $\leq 0.010\text{wt}\% \text{S}$ 。优选地,该317L57M4N具有 $\leq 0.005\text{wt}\% \text{S}$ 且更优选地 $\leq 0.003\text{wt}\% \text{S}$,且甚至更优选地 $\leq 0.001\text{wt}\% \text{S}$ 。

[0272] 氧(O)

[0273] 317L57M4N不锈钢的氧含量被控制为尽可能低,且在第三实施例中,该317L57M4N也具有 $\leq 0.070\text{wt}\% \text{O}$ 。优选地,该317L57M4N合金具有 $\leq 0.050\text{wt}\% \text{O}$ 且更优选地 $\leq 0.030\text{wt}\% \text{O}$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.010\text{wt}\% \text{O}$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.005\text{wt}\% \text{O}$ 。

[0274] 硅(Si)

[0275] 317L57M4N不锈钢的硅含量为 $\leq 0.75\text{wt}\% \text{Si}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 0.25\text{wt}\% \text{Si}$ 且 $\leq 0.75\text{wt}\% \text{Si}$ 。更优选地,该范围为 $\geq 0.40\text{wt}\% \text{Si}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\% \text{Si}$ 。然而,对于需要提高抗氧化性能的特定较高温度的应用,硅含量可以为 $\geq 0.75\text{wt}\% \text{Si}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\% \text{Si}$ 。

[0276] 铬(Cr)

[0277] 317L57M4N不锈钢的铬含量为 $\geq 18.00\text{wt}\% \text{Cr}$ 且 $\leq 20.00\text{wt}\% \text{Cr}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 19.00\text{wt}\% \text{Cr}$ 。

[0278] 镍(Ni)

[0279] 317L57M4N不锈钢的镍含量为 $\geq 11.00\text{wt}\% \text{Ni}$ 且 $\leq 15.00\text{wt}\% \text{Ni}$ 。优选地,对于较低镍范围的合金,该合金的Ni的上限为 $\leq 14.00\text{wt}\% \text{Ni}$ 且更优选地 $\leq 13.00\text{wt}\% \text{Ni}$ 。

[0280] 对于较高镍范围的合金,317L57M4N不锈钢的镍含量可以具有 $\geq 13.50\text{wt}\% \text{Ni}$ 且 $\leq 17.50\text{wt}\% \text{Ni}$ 。优选地,对于较高镍范围合金,Ni的上限为 $\leq 16.50\text{wt}\% \text{Ni}$ 且更优选地 $\leq$

15.50wt%Ni。

[0281] 钼(Mo)

[0282] 317L57M4N不锈钢合金的钼含量为 $\geq 5.00\text{wt\%Mo}$ 且 $\leq 7.00\text{wt\%Mo}$,但优选地 $\geq 6.00\text{wt\%Mo}$ 。换句话说,钼具有 $7.00\text{wt\%Mo}$ 的最大值。

[0283] 氮(N)

[0284] 317L57M4N不锈钢的氮含量为 $\leq 0.70\text{wt\%N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt\%N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt\%N}$ 。更优选地,该317L57M4N具有 $\geq 0.40\text{wt\%N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt\%N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt\%N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt\%N}$ 。

[0285] PRE_N

[0286] 耐点蚀当量使用该公式计算:

[0287] $\text{PRE}_\text{N} = \% \text{Cr} + (3.3 \times \% \text{Mo}) + (16 \times \% \text{N})$ 。

[0288] 该317L57M4N不锈钢已经明确调配为具有下列组成:

[0289] (i) 铬含量 $\geq 18.00\text{wt\%Cr}$ 且 $\leq 20.00\text{wt\%Cr}$,但优选地 $\geq 19.00\text{wt\%Cr}$;

[0290] (ii) 钼含量 $\geq 5.00\text{wt\%Mo}$ 且 $\leq 7.00\text{wt\%Mo}$,但优选地 $\geq 6.00\text{wt\%Mo}$;

[0291] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt\%N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt\%N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt\%N}$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt\%N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt\%N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt\%N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt\%N}$ 。

[0292] 通过高水平的氮,该317L57M4N不锈钢达到了 $\text{PRE}_\text{N} \geq 40$,且优选地 $\text{PRE}_\text{N} \geq 45$ 。这确保了合金在宽范围的加工环境下具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该317L57M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0293] 317L57M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶,[Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内,但优选地 >0.45 且 <0.95 ,以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0294] 317L57M4N不锈钢也具有主要的Fe作为剩余部分,且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁,且这些元素的组成与304LM4N的这些元素的组成是相同的。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于此。

[0295] 根据第三实施例,317L57M4N不锈钢对于锻造版具有55ksi或380MPa的最小屈服强度。更优选地,对于锻造版可以达到62ksi或430MPa的最小屈服强度。铸造版具有41ksi或280MPa的最小屈服强度。更优选地,对于铸造版可以达到48ksi或330MPa的最小屈服强度。基于优选值,新颖的和创新的317L57M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比,表明317L57M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31703的最小屈服强度高2.1倍。类似地,317L57M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比,表明317L57M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31753的最小屈服强度高1.79倍。

[0296] 根据第三实施例,317L57M4N不锈钢对于锻造版具有102ksi或700MPa的最小抗拉

强度。更优选地,对于锻造版可以达到109ksi或750MPa的最小抗拉强度。铸造版具有95ksi或650MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于铸造版可以达到102ksi或700MPa的最小抗拉强度。基于优选值,317L57M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比,表明317L57M4N不锈钢的最小抗拉强度比规定用于UNS S31703的最小抗拉强度高1.45倍以上。类似地,新颖的和创新的317L57M4N奥氏体不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比,表明317L57M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31753的最小抗拉强度高1.36倍。实际上,如果317L57M4N不锈钢的锻造机械强度性能与表2中22Cr双相不锈钢的锻造机械强度性能相比,那么可以表明317L57M4N不锈钢的最小抗拉强度比规定用于S31803的最小抗拉强度高1.2倍左右,并类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的最小抗拉强度。因此,317L57M4N不锈钢的最小机械强度性能与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比已经显著提高,并且抗拉强度性能优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉强度性能并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉强度性能。

[0297] 这意味着使用锻造317L57M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定317L57M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造317L57M4N不锈钢的最小容许设计应力可能高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0298] 对于某些应用,317L57M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,317L57M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,且铜和钒的组成与304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落在此也适用于317L57M4N。

[0299] 钨(W)

[0300] 317L57M4N不锈钢的钨含量为 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。对于317L57M4N不锈钢的含钨变体,耐点蚀当量使用该公式计算:

[0301] $PRE_{NW} = \%Cr + [3.3 \times (\%Mo + \%W)] + (16 \times \%N)$ 。

[0302] 317L57M4N不锈钢的这个含钨变体已经专门调配为具有下列组成:

[0303] (i) 铬含量 $\geq 18.00\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 20.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 19.00\text{wt}\%Cr$;

[0304] (ii) 钼含量 $\geq 5.0\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 7.00\text{wt}\%Mo$,但优选地 $\geq 6.00\text{wt}\%Mo$,

[0305] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$;和

[0306] (iv) 钨含量 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。

[0307] 317L57M4N不锈钢的含钨变体具有高规定水平的氮且 $PRE_{NW} \geq 42$,但优选地 $PRE_{NW} \geq 47$ 。应当强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。钨可以单独添加,或者连同铜、钒、钛和/或铌和/或铈加钼这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高该合金的总体腐蚀性能。钨是极其昂贵的,因此有目的地限制钨以优化合金的经济性,同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0308] 碳(C)

[0309] 对于某些应用,317L57M4N不锈钢的其他变体是可取的,这些变体已经被专门调配

以制造成包含更高水平的碳。具体地,317L57M4N不锈钢的碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\% \text{C}$ 且 $< 0.10\text{wt}\% \text{C}$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\% \text{C}$ 或 $> 0.030\text{wt}\% \text{C}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\% \text{C}$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\% \text{C}$ 。317L57M4N不锈钢的这些特定变体分别为317H57M4N或31757M4N版本。

[0310] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0311] 此外,对于某些应用,317H57M4N或31757M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\% \text{C}$ 且 $< 0.10\text{wt}\% \text{C}$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\% \text{C}$ 或 $> 0.030\text{wt}\% \text{C}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\% \text{C}$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\% \text{C}$ 。

[0312] (i)它们包括被称为317H57M4NTi或31757M4NTi的钛稳定化版本,以与一般317L57M4N不锈钢版本形成对比。根据下列公式控制钛含量:

[0313] 分别为 $\text{Ti}4 \times \text{C}$ 最小值、 $0.70\text{wt}\% \text{Ti}$ 最大值,或 $\text{Ti}5 \times \text{C}$ 最小值、 $0.70\text{wt}\% \text{Ti}$ 最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0314] (ii)也有铌稳定化的317H57M4NNb或31757M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0315] 分别为 $\text{Nb}8 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\% \text{Nb}$ 最大值,或 $\text{Nb}10 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\% \text{Nb}$ 最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0316] (iii)另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的317H57M4NNbTa或31757M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0317] $\text{Nb}+\text{Ta}8 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\% \text{Nb}+\text{Ta}$ 最大值、 $0.10\text{wt}\% \text{Ta}$ 最大值,或 $\text{Nb}+\text{Ta}10 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\% \text{Nb}+\text{Ta}$ 最大值、 $0.10\text{wt}\% \text{Ta}$ 最大值。

[0318] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0319] 317L57M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前的实施例相同的方式被提供。

[0320] 进一步地,提出了另一个的变体,适当地被称为317L35M4N高强度奥氏体不锈钢,这是本发明的第四实施例。该317L35M4N不锈钢实际上除了钼含量之外与317L57M4N不锈钢具有相同的化学组成。因此,此处仅描述不同之处,而不重复描述各种化学组成。

[0321] [317L35M4N]

[0322] 如上述提到的,除了钼含量之外,317L35M4N与第三实施例317L57M4N不锈钢具有完全相同wt%的碳、锰、磷、硫、氧、硅、铬、镍和氮含量。在317L57M4N不锈钢中,钼水平在 $5.00\text{wt}\%$ 和 $7.00\text{wt}\% \text{Mo}$ 之间。相比之下,317L35M4N不锈钢的钼含量在 $3.00\text{wt}\%$ 和 $5.00\text{wt}\% \text{Mo}$ 之间。换句话说,317L35M4N可以看作是317L57M4N不锈钢的低钼含量版本。

[0323] 应当理解的是,除了钼含量之外,关于317L57M4N的段落也适用于此。

[0324] 钼(Mo)

[0325] 317L35M4N不锈钢的钼含量可以为 $\geq 3.00\text{wt}\% \text{Mo}$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\% \text{Mo}$,但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\% \text{Mo}$ 。换句话说,317L35M4N的钼含量具有 $5.00\text{wt}\% \text{Mo}$ 的最大值。

[0326] PRE_N

[0327] 317L35M4N的耐点蚀当量使用与317L57M4N相同的公式计算,但由于钼含量不同,该 PRE_N 为 ≥ 35 ,但优选地 $PRE_N \geq 40$ 。这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性、及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该317L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0328] 317L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶, [Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内,但优选地 >0.45 且 <0.95 ,以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保该合金为奥氏体。因此,317L35M4N不锈钢表现出环境温度下的高强度和延性的独特组合,并同时保证了环境温度及低温下的优异韧性。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0329] 像317L57M4N实施例一样,317L35M4N不锈钢也含有主要的Fe作为剩余部分,且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁,并且这些元素的组成与317L57M4N的这些元素的组成相同,因而也与304LM4N的这些元素的组成相同。

[0330] 第四实施例的317L35M4N不锈钢具有的最小屈服强度和最小抗拉强度,相当于或类似于317L57M4N不锈钢的最小屈服强度和最小抗拉强度。同样地,317L35M4N的锻造版和铸造版的强度性能也相当于317L57M4N的锻造版和铸造版的强度性能。因而,具体强度值在此不再重复,且参考之前317L57M4N的段落。317L35M4N与传统奥氏体不锈钢UNS S31703之间、以及317L35M4N与UNS S31753之间的锻造机械强度性能比较,表明更高的屈服强度和抗拉强度的大小,类似于在317L57M4N发现的那些。317L35M4N抗拉性能的类似比较,表明他们优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉性能,并类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉性能,就像317L57M4N一样。

[0331] 这意味着使用锻造317L35M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定317L35M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比,由于最小容许设计应力会显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造317L35M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0332] 对于某些应用,317L35M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,317L35M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并且铜和钒的组成与317L57M4N的铜和钒的组成以及304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落在此也适用于317L35M4N。

[0333] 钨(W)

[0334] 317L35M4N不锈钢的钨含量与317L57M4N的钨含量类似,并且,使用上述提到的317L57M4N所使用的公式计算的317L35M4N的耐点蚀当量、 PRE_{NW} 为 ≥ 37 ,但优选地 $PRE_{NW} \geq 42$,这是由于钼含量的不同造成的。应很明显地是,关于317L57M4N中钼的使用与作用的段落也适用于317L35M4N。

[0335] 进一步地,317L35M4N可以具有较高水平的碳,被称为317H35M4N和31735M4N,分别对应于之前讨论的317H57M4N和31757M4N,并且之前讨论的碳wt%范围也适用于317H35M4N和31735M4N。

[0336] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0337] 此外,对于某些应用,317H35M4N或31735M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\% \text{C}$ 且 $< 0.10\text{wt}\% \text{C}$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\% \text{C}$,或 $> 0.030\text{wt}\% \text{C}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\% \text{C}$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\% \text{C}$ 。

[0338] (i)它们包括被称为317H35M4NTi或31735M4NTi的钛稳定化版本,以与一般317L35M4N形成对比。根据下列公式控制钛含量:

[0339] 分别为 $\text{Ti}4 \times \text{C}$ 最小值、 $0.70\text{wt}\% \text{Ti}$ 最大值,或 $\text{Ti}5 \times \text{C}$ 最小值、 $0.70\text{wt}\% \text{Ti}$ 最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0340] (ii)也有铌稳定化的317H35M4NNb或31735M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0341] 分别为 $\text{Nb}8 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\% \text{Nb}$ 最大值,或 $\text{Nb}10 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\% \text{Nb}$ 最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0342] (iii)另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的317H35M4NNbTa或31735M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0343] $\text{Nb} + \text{Ta}8 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\% \text{Nb} + \text{Ta}$ 最大值、 $0.10\text{wt}\% \text{Ta}$ 最大值,或 $\text{Nb} + \text{Ta}10 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\% \text{Nb} + \text{Ta}$ 最大值、 $0.10\text{wt}\% \text{Ta}$ 最大值。

[0344] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0345] 317L35M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前实施例相同的方式被提供。

[0346] 进一步地,提出另一个变体,在这个说明书中适当地被称为312L35M4N,这是本发明的第五实施例。

[0347] [312L35M4N]

[0348] 312L35M4N高强度奥氏体不锈钢具有高水平的氮,且耐点蚀当量 $\text{PRE}_N \geq 37$,但优选地 $\text{PRE}_N \geq 42$ 。被称为 PRE_N 的耐点蚀当量根据该公式计算:

[0349] $\text{PRE}_N = \% \text{Cr} + (3.3 \times \% \text{Mo}) + (16 \times \% \text{N})$ 。

[0350] 312L35M4N不锈钢已经被调配为具有高机械强度性能与优异的延性和韧性的独特组合,以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀性。312L35M4N不锈钢的化学组成是选择性的,并以如下重量(wt)百分比的化学分析的合金为特征: $0.030\text{wt}\% \text{C}$ 最大值, $2.00\text{wt}\% \text{Mn}$ 最大值, $0.030\text{wt}\% \text{P}$ 最大值, $0.010\text{wt}\% \text{S}$ 最大值, $0.75\text{wt}\% \text{Si}$ 最大值, $20.00\text{wt}\% \text{Cr}$ - $22.00\text{wt}\% \text{Cr}$, $15.00\text{wt}\% \text{Ni}$ - $19.00\text{wt}\% \text{Ni}$, $3.00\text{wt}\% \text{Mo}$ - $5.00\text{wt}\% \text{Mo}$, $0.40\text{wt}\% \text{N}$ - $0.70\text{wt}\% \text{N}$ 。

[0351] 312L35M4N不锈钢还含有主要的Fe作为剩余部分,且也可能含有非常少量的其他

元素,比如0.010wt%B最大值,0.10wt%Ce最大值,0.050wt%Al最大值,0.01wt%Ca最大值和/或0.01wt%Mg最大值以及通常以残留水平存在的其他杂质。

[0352] 312L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化,以主要确保基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后具有奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构,通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保合金为奥氏体。因此,312L35M4N不锈钢表现出环境温度下的高强度和延性的独特组合,并同时保证了环境温度及低温下的优异韧性。鉴于312L35M4N不锈钢的化学组成被调节为达到 $PRE_N \geq 37$ 、但优选地 $PRE_N \geq 42$ 的事实,这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性、及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比,312L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。

[0353] 已确定,312L35M4N不锈钢的最优化学组成范围是精心选择的以包括基于第五实施例的如下重量百分比的化学元素:

[0354] 碳(C)

[0355] 312L35M4N不锈钢的碳含量为 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 最大值。优选地,碳的含量应该为 $\geq 0.020\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 且更优选地 $\leq 0.025\text{wt}\%C$ 。

[0356] 锰(Mn)

[0357] 第五实施例的312L35M4N不锈钢可以有两种变化形式:低锰或高锰。

[0358] 对于低锰合金,312L35M4N不锈钢的锰含量为 $\leq 2.0\text{wt}\%Mn$ 。优选地,范围为 $\geq 1.0\text{wt}\%Mn$ 且 $\leq 2.0\text{wt}\%Mn$,且更优选地 $\geq 1.20\text{wt}\%Mn$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%Mn$ 。通过这种组成,达到了Mn对N的 ≤ 5.0 的最优比率,且优选地 ≥ 1.42 且 ≤ 5.0 。更优选地,该比率为 ≥ 1.42 且 ≤ 3.75 。

[0359] 对于高锰合金,312L35M4N的锰含量为 $\leq 4.0\text{wt}\%Mn$ 。优选地,锰含量为 $\geq 2.0\text{wt}\%Mn$ 且 $\leq 4.0\text{wt}\%Mn$,且更优选地,上限为 $\leq 3.0\text{wt}\%Mn$ 。甚至更优选地,上限为 $\leq 2.50\text{wt}\%Mn$ 。通过这些选择的范围,达到了Mn对N的 ≤ 10.0 的比率,且优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 10.0 。更优选地,对于高锰合金,Mn对N的比率为 ≥ 2.85 且 ≤ 7.50 ,且更优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 6.25 。

[0360] 磷(P)

[0361] 312L35M4N不锈钢的磷含量被控制为 $\leq 0.030\text{wt}\%P$ 。优选地,该312L35M4N合金具有 $\leq 0.025\text{wt}\%P$ 且更优选地 $\leq 0.020\text{wt}\%P$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.015\text{wt}\%P$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\%P$ 。

[0362] 硫(S)

[0363] 第五实施例的312L35M4N不锈钢的硫含量包括 $\leq 0.010\text{wt}\%S$ 。优选地,该312L35M4N具有 $\leq 0.005\text{wt}\%S$ 且更优选地 $\leq 0.003\text{wt}\%S$,且甚至更优选地 $\leq 0.001\text{wt}\%S$ 。

[0364] 氧(O)

[0365] 312L35M4N不锈钢的氧含量被控制为尽可能低,且在第五实施例中,该312L35M4N具有 $\leq 0.070\text{wt}\%O$ 。优选地,该312L35M4N具有 $\leq 0.050\text{wt}\%O$ 且更优选地 $\leq 0.030\text{wt}\%O$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.010\text{wt}\%O$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.005\text{wt}\%O$ 。

[0366] 硅(Si)

[0367] 312L35M4N不锈钢的硅含量为 $\leq 0.75\text{wt}\%Si$ 。优选地,该合金具有 $\geq 0.25\text{wt}\%Si$ 且 $\leq$

0.75wt%Si。更优选地,该范围为 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{Si}$ 。然而,对于需要提高抗氧化性能的特定较高温度的应用,硅含量可以为 $\geq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Si}$ 。

[0368] 铬(Cr)

[0369] 312L35M4N不锈钢的铬含量为 $\geq 20.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 且 $\leq 22.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 21.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

[0370] 镍(Ni)

[0371] 312L35M4N不锈钢的镍含量为 $\geq 15.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 且 $\leq 19.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。优选地,该合金的Ni的上限为 $\leq 18\text{wt}\%\text{Ni}$ 且更优选地 $\leq 17\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

[0372] 钼(Mo)

[0373] 312L35M4N不锈钢合金的钼含量为 $\geq 3.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。换句话说,这个实施例的钼含量具有5.00wt%Mo的最大值。

[0374] 氮(N)

[0375] 312L35M4N不锈钢的氮含量为 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$ 。更优选地,该312L35M4N具有 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。

[0376] PRE_N

[0377] 耐点蚀当量使用该公式计算:

[0378] $\text{PRE}_N = \% \text{Cr} + (3.3 \times \% \text{Mo}) + (16 \times \% \text{N})$ 。

[0379] 该312L35M4N不锈钢已经明确调配为具有下列组成:

[0380] (i) 铬含量 $\geq 20.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 且 $\leq 22.00\text{wt}\%\text{Cr}$,但优选地 $\geq 21.00\text{wt}\%\text{Cr}$;

[0381] (ii) 钼含量 $\geq 3.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$;

[0382] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。

[0383] 通过高水平的氮,该312L35M4N不锈钢达到了 $\text{PRE}_N \geq 37$,且优选地 $\text{PRE}_N \geq 42$ 。这确保了合金在宽范围的加工环境下具有良好的抗全面腐蚀性、抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该312L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0384] 312L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶, [Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内,但优选地 >0.45 且 <0.95 ,以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0385] 312L35M4N不锈钢也具有主要的Fe作为剩余部分,且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁,并且这些元素的组成与304LM4N中这些元素的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于此。

[0386] 根据第五实施例,312L35M4N不锈钢对于锻造版具有55ksi或380MPa的最小屈服强度。更优选地,对于锻造版可以达到62ksi或430MPa的最小屈服强度。铸造版具有41ksi或

280MPa的最小屈服强度。更优选地对于铸造版可以达到48ksi或330MPa的最小屈服强度。基于优选值,新颖的和创新的312L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比,表明312L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31703的最小屈服强度高2.1倍。类似地,312L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比,表明312L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31753的最小屈服强度高1.79倍。同样地,312L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31254的锻造机械强度性能相比,表明312L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31254的最小屈服强度高1.38倍。

[0387] 根据第五实施例,312L35M4N不锈钢对于锻造版具有102ksi或700MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于锻造版可以达到109ksi或750MPa的最小抗拉强度。铸造版具有95ksi或650MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于铸造版可以达到102ksi或700MPa的最小抗拉强度。基于优选值,312L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNSS31703的锻造机械强度性能相比,表明312L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31703的最小抗拉强度高1.45倍以上。类似地,312L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比,表明312L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31753的最小抗拉强度高1.36倍。同样地,312L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31254的锻造机械强度性能相比,表明312L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31254的最小抗拉强度高1.14倍。实际上,如果312L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与22Cr双相不锈钢的锻造机械强度性能相比,那么可以表明312L35M4N不锈钢的最小抗拉强度比规定用于S31803的最小抗拉强度高1.2倍左右,并类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的最小抗拉强度。因此,312L35M4N不锈钢的最小机械强度性能与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、UNS S31753和UNS S31254相比已经显著提高,并且抗拉强度性能优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉强度性能,并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉强度性能。

[0388] 这意味着使用锻造312L35M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定312L35M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、UNS S31753和UNS S31254相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造312L35M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0389] 对于某些应用,312L35M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,312L35M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并且铜和钒的组成与304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于312L35M4N。

[0390] 钨(W)

[0391] 312L35M4N不锈钢的钨含量为 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$,且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。对于312L35M4N不锈钢含钨变体,耐点蚀当量使用该公式计算:

[0392] $\text{PRE}_{\text{NW}} = \%Cr + [3.3 \times \%(\text{Mo} + W)] + (16 \times \%N)$ 。

[0393] 312L35M4N不锈钢的这个含钨变体已经专门调配为具有下列组成:

[0394] (i) 铬含量 $\geq 20.00\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 22.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 21.00\text{wt}\%Cr$;

[0395] (ii) 钼含量 $\geq 3.00\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%Mo$,但更优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%Mo$;

[0396] (iii)氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$;和

[0397] (iv)钨含量 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{W}$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%\text{W}$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%\text{W}$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%\text{W}$ 。

[0398] 312L35M4N不锈钢的含有钨的变体具有高规定水平的氮且 $\text{PRE}_{\text{NW}} \geq 39$,但优选地 $\text{PRE}_{\text{NW}} \geq 44$ 。应当强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。钨可以单独添加,或者连同铜、钒、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高该合金的总体腐蚀性能。钨是极其昂贵的,因此有目的地限制钨以优化合金的经济性,同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0399] 碳(C)

[0400] 对于某些应用,312L35M4N不锈钢的其他变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,312L35M4N不锈钢的碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%\text{C}$ 且 $< 0.10\text{wt}\%\text{C}$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{C}$ 或 $> 0.030\text{wt}\%\text{C}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%\text{C}$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%\text{C}$ 。312L35M4N不锈钢的这些特定变体分别视为312H35M4N或31235M4N版本。

[0401] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0402] 此外,对于某些应用,312H35M4N或31235M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%\text{C}$ 且 $< 0.10\text{wt}\%\text{C}$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{C}$ 或 $> 0.030\text{wt}\%\text{C}$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%\text{C}$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%\text{C}$ 。

[0403] (i)它们包括被称为312H35M4NTi或31235M4NTi的钛稳定化版本,以与一般312L35M4N不锈钢版本形成对比。根据下列公式控制钛含量:

[0404] 分别为 $\text{Ti}4 \times \text{C}$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%\text{Ti}$ 最大值,或 $\text{Ti}5 \times \text{C}$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%\text{Ti}$ 最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0405] (ii)也有铌稳定化的312H35M4NNb或31235M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0406] 分别为 $\text{Nb}8 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%\text{Nb}$ 最大值,或 $\text{Nb}10 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%\text{Nb}$ 最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0407] (iii)另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的312H35M4NNbTa或31235M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0408] $\text{Nb}+\text{Ta}8 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%\text{Nb}+\text{Ta}$ 最大值、 $0.10\text{wt}\%\text{Ta}$ 最大值,或 $\text{Nb}+\text{Ta}10 \times \text{C}$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%\text{Nb}+\text{Ta}$ 最大值、 $0.10\text{wt}\%\text{Ta}$ 最大值。

[0409] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0410] 312L35M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前的实施例相同的方式被提供。

[0411] 进一步地,提出了另一个变体,适当地被称为312L57M4N高强度奥氏体不锈钢,这

是本发明的第六实施例。该312L57M4N不锈钢实际上除了钼含量之外与312L35M4N不锈钢具有相同的化学组成。因此,此处仅描述不同之处,而不重复描述各种化学组成。

[0412] [312L57M4N]

[0413] 如上述提到的,312L57M4N与第五实施例312L35M4N不锈钢除了钼含量之外,具有完全相同wt%的碳、锰、磷、硫、氧、硅、铬、镍和氮含量。在312L35M4N中,钼含量在3.00wt%和5.00wt%之间。相比之下,312L57M4N不锈钢的钼含量在5.00wt%和7.00wt%之间。换句话说,312L57M4N可以看作是312L35M4N不锈钢的较高钼含量版本。

[0414] 应当理解的是,除了钼含量之外,关于312L35M4N的段落也适用于此。

[0415] 钼(Mo)

[0416] 312L57M4N不锈钢的钼含量可以为 $\geq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 7.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 6.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。换句话说,312L57M4N的钼含量具有7.00wt%Mo的最大值。

[0417] PRE_N

[0418] 312L57M4N的耐点蚀当量使用与312L35M4N相同的公式计算,但由于钼含量不同,该PRE_N为 ≥ 43 ,但优选地PRE_N ≥ 48 。这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该312L57M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0419] 312L57M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶,[Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内,但优选地 >0.45 且 <0.95 ,以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0420] 像312L35M4N实施例一样,312L57M4N不锈钢也含有主要的Fe作为剩余部分,且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁,并且这些元素的组成与312L35M4N的这些元素的组成相同,因而也与304LM4N的这些元素的组成相同。

[0421] 第六实施例的312L57M4N不锈钢具有的最小屈服强度和最小抗拉强度相当于或类似于312L35M4N不锈钢的最小屈服强度和最小抗拉强度。同样地,312L57M4N的锻造版和铸造版的强度性能也相当于312L35M4N的锻造版和铸造版的强度性能。因而,具体强度值在此不再重复,且参考之前312L35M4N的段落。312L57M4N与传统奥氏体不锈钢UNS S31703之间、以及312L57M4N与UNS S31753/UNS S31254之间的锻造机械强度性能比较,表明更高的屈服强度和抗拉强度大小,类似于在312L35M4N发现的那些。类似地,312L57M4N抗拉性能的比较表明他们优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉性能,并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉性能,就像312L35M4N一样。

[0422] 这意味着使用锻造312L57M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定312L57M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、S31753和S31254相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造312L57M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0423] 对于某些应用,312L57M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,312L57M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并且铜和钒的组成与312L35M4N的铜和钒的组成以及304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落在此处也适用于312L57M4N。

[0424] 钨(W)

[0425] 312L57M4N不锈钢的钨含量与312L35M4N的钨含量类似,并且,312L57M4N的耐点蚀当量、PRE_{NW}使用上述提到的312L35M4N所使用的公式计算,且该耐点蚀当量为PRE_{NW} ≥ 45,但优选地PRE_{NW} ≥ 50,这是由于钼含量的不同造成的。应该是很明显地,关于312L35M4N中钼的使用与作用的段落也适用于312L57M4N。

[0426] 进一步地,312L57M4N可以具有较高水平的碳,被称为312H57M4N或31257M4N,分别对应于之前讨论的312H35M4N和31235M4N,并且之前讨论的碳wt%范围也适用于312H57M4N和31257M4N。

[0427] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0428] 此外,对于某些应用,312H57M4N或31257M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 ≥ 0.040wt%C 且 < 0.10wt%C,但优选地 ≤ 0.050wt%C 或 > 0.030wt%C 且 ≤ 0.08wt%C,但优选地 < 0.040wt%C。

[0429] (i) 它们包括被称为312H57M4NTi或31257M4NTi的钛稳定化版本,以与一般312L57M4N不锈钢版本形成对比。根据下列公式控制钛含量:

[0430] 分别为Ti₄ × C最小值、0.70wt%Ti最大值,或Ti₅ × C最小值、0.70wt%Ti最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0431] (ii) 也有铌稳定化的312H57M4NNb或31257M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0432] 分别为Nb₈ × C最小值、1.0wt%Nb最大值,或Nb₁₀ × C最小值、1.0wt%Nb最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0433] (iii) 另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的312H57M4NNbTa或31257M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0434] Nb+Ta₈ × C最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值,或Nb+Ta₁₀ × C最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值。

[0435] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0436] 312L57M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前实施例相同的方式被提供。

[0437] 进一步地,提出另一个变体,在这个说明书中适当地被称为320L35M4N,这是本发明的第七实施例。

[0438] [320L35M4N]

[0439] 320L35M4N高强度奥氏体不锈钢具有高水平的氮,且具体耐点蚀当量 $PRE_N \geq 39$,但优选地 $PRE_N \geq 44$ 。被称为 PRE_N 的耐点蚀当量根据该公式计算:

[0440] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ 。

[0441] 320L35M4N不锈钢已经被调配为具有高机械强度性能与优异的延性和韧性的独特组合,以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀性。320L35M4N不锈钢的化学组成是选择性的,并以如下重量(wt)百分比的化学分素的合金为特征:0.030wt%C最大值,2.00wt%Mn最大值,0.030wt%P最大值,0.010wt%S最大值,0.75wt%Si最大值,22.00wt%Cr-24.00wt%Cr,17.00wt%Ni-21.00wt%Ni,3.00wt%Mo-5.00wt%Mo,0.40wt%N-0.70wt%N。

[0442] 320L35M4N不锈钢还含有主要的Fe作为剩余部分,且也可能含有非常少量的其他元素,比如0.010wt%B最大值,0.10wt%Ce最大值,0.050wt%Al最大值,0.01wt%Ca最大值和/或0.01wt%Mg最大值以及通常以残留水平存在的其他杂质。

[0443] 320L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化,以主要确保基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后具有奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构,通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保合金为奥氏体。因此,320L35M4N不锈钢表现出环境温度下的高强度和延性的独特组合,并同时保证了环境温度及低温下的优异韧性。鉴于320L35M4N不锈钢的化学组成被调节为达到 $PRE_N \geq 39$ 、但优选地 $PRE_N \geq 44$ 的事实,这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNSS31753相比,320L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。

[0444] 已确定,320L35M4N不锈钢的最优化学组成范围是精心选择的以包括基于第七实施例的如下重量百分比的化学元素:

[0445] 碳(C)

[0446] 320L35M4N不锈钢的碳含量为 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 最大值。优选地,碳的含量应该为 $\geq 0.020\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 且更优选地 $\leq 0.025\text{wt}\%C$ 。

[0447] 锰(Mn)

[0448] 第七实施例的320L35M4N不锈钢可以有两种变化形式:低锰或高锰。

[0449] 对于低锰合金,320L35M4N不锈钢的锰含量为 $\leq 2.0\text{wt}\%Mn$ 。优选地,范围为 $\geq 1.0\text{wt}\%Mn$ 且 $\leq 2.0\text{wt}\%Mn$,且更优选地 $\geq 1.20\text{wt}\%Mn$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%Mn$ 。通过这种组成,达到了Mn对N的 ≤ 5.0 的最优比率,且优选地 ≥ 1.42 且 ≤ 5.0 。更优选地,该比率为 ≥ 1.42 且 ≤ 3.75 。

[0450] 对于高锰合金,320L35M4N的锰含量为 $\leq 4.0\text{wt}\%Mn$ 。优选地,锰含量为 $\geq 2.0\text{wt}\%Mn$ 且 $\leq 4.0\text{wt}\%Mn$,且更优选地,上限为 $\leq 3.0\text{wt}\%Mn$ 。甚至更优选地,上限为 $\leq 2.50\text{wt}\%Mn$ 。通过这些选择的范围,达到了Mn对N的 ≤ 10.0 的比率,且优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 10.0 。更优选地,对于高锰合金,Mn对N的比率为 ≥ 2.85 且 ≤ 7.50 ,且更优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 6.25 。

[0451] 磷(P)

[0452] 320L35M4N不锈钢的磷含量被控制为 $\leq 0.030\text{wt}\%P$ 。优选地,该320L35M4N合金具有 $\leq 0.025\text{wt}\%P$ 且更优选地 $\leq 0.020\text{wt}\%P$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.015\text{wt}\%P$ 且甚至进一

步更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\%P$ 。

[0453] 硫(S)

[0454] 第七实施例的320L35M4N不锈钢的硫含量包括 $\leq 0.010\text{wt}\%S$ 。优选地,该320L35M4N具有 $\leq 0.005\text{wt}\%S$ 且更优选地 $\leq 0.003\text{wt}\%S$,且甚至更优选地 $\leq 0.001\text{wt}\%S$ 。

[0455] 氧(O)

[0456] 320L35M4N不锈钢的氧含量被控制为尽可能低,且在第七实施例中,该320L35M4N具有 $\leq 0.070\text{wt}\%O$ 。优选地,该320L35M4N具有 $\leq 0.050\text{wt}\%O$ 且更优选地 $\leq 0.030\text{wt}\%O$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.010\text{wt}\%O$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.005\text{wt}\%O$ 。

[0457] 硅(Si)

[0458] 320L35M4N不锈钢的硅含量为 $\leq 0.75\text{wt}\%Si$ 。优选地,该合金具有 $\geq 0.25\text{wt}\%Si$ 且 $\leq 0.75\text{wt}\%Si$ 。更优选地,该范围为 $\geq 0.40\text{wt}\%Si$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%Si$ 。然而,对于需要提高抗氧化性能的特定较高温度的应用,硅含量可以为 $\geq 0.75\text{wt}\%Si$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%Si$ 。

[0459] 铬(Cr)

[0460] 320L35M4N不锈钢的铬含量为 $\geq 22.00\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 24.00\text{wt}\%Cr$ 。优选地,该合金具有 $\geq 23.00\text{wt}\%Cr$ 。

[0461] 镍(Ni)

[0462] 320L35M4N不锈钢的镍含量为 $\geq 17.00\text{wt}\%Ni$ 且 $\leq 21.00\text{wt}\%Ni$ 。优选地,该合金的Ni的上限为 $\leq 20.00\text{wt}\%Ni$ 且更优选地 $\leq 19.00\text{wt}\%Ni$ 。

[0463] 钼(Mo)

[0464] 320L35M4N不锈钢合金的钼含量为 $\geq 3.00\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%Mo$,但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%Mo$ 。

[0465] 氮(N)

[0466] 320L35M4N不锈钢的氮含量为 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$ 。更优选地,该320L35M4N具有 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$ 。

[0467] PRE_N

[0468] 耐点蚀当量使用该公式计算:

[0469] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ 。

[0470] 该320L35M4N不锈钢已经明确调配为具有下列组成:

[0471] (i) 铬含量 $\geq 22.00\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 24.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 23.00\text{wt}\%Cr$;

[0472] (ii) 钼含量 $\geq 3.00\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%Mo$,但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%Mo$,

[0473] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$ 。

[0474] 通过高水平的氮,该320L35M4N不锈钢达到了 $PRE_N \geq 39$,且优选地 $PRE_N \geq 44$ 。这确保了合金在宽范围的加工环境下具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该320L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0475] 320L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶,[Cr]当量

除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内,但优选地 >0.45 且 <0.95 ,以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在 1100 摄氏度- 1250 摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0476] 320L35M4N不锈钢也具有主要的Fe作为剩余部分,且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁,并且这些元素的组成与304LM4N中这些元素的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于此。

[0477] 根据第七实施例,320L35M4N不锈钢对于锻造版具有55ksi或380MPa的最小屈服强度。更优选地,对于锻造版可以达到62ksi或430MPa的最小屈服强度。铸造版具有41ksi或280MPa的最小屈服强度。更优选地,对于铸造版可以达到48ksi或330MPa的最小屈服强度。基于优选值,320L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比,表明320L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31703的最小屈服强度高2.1倍。类似地,320L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比,表明320L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31753的最小屈服强度高1.79倍。同样地,320L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S32053的锻造机械强度性能相比,表明320L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S32053的最小屈服强度高1.45倍。

[0478] 根据第七实施例,320L35M4N不锈钢对于锻造版具有102ksi或700MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于锻造版可以达到109ksi或750MPa的最小抗拉强度。铸造版具有95ksi或650MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于铸造版可以达到102ksi或700MPa的最小抗拉强度。基于优选值,320L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比,表明320L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31703的最小抗拉强度高1.45倍以上。类似地,320L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比,表明320L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31753的最小抗拉强度高1.36倍。同样地,320L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S32053的锻造机械强度性能相比,表明320L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S32053的最小抗拉强度高1.17倍。实际上,如果320L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与22Cr双相不锈钢的锻造机械强度性能相比,那么可以表明320L35M4N不锈钢的最小抗拉强度比规定用于S31803的最小抗拉强度高1.2倍左右,并类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢。因此,新颖的和创新的320L35M4N不锈钢的最小机械强度性能与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、UNS S31753和UNS S32053相比已经显著提高,并且抗拉强度性能优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉强度性能,并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉强度性能。

[0479] 这意味着使用锻造320L35M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定320L35M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、UNS S31753和UNS S32053相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造320L35M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0480] 对于某些应用,320L35M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包

含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,320L35M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并且铜和钒的组成与304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于320L35M4N。

[0481] 钨(W)

[0482] 320L35M4N不锈钢的钨含量为 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$,且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。对于320L35M4N不锈钢含钨变体,耐点蚀当量使用公式计算:

[0483] $\text{PRE}_{\text{NW}} = \%Cr + [3.3 \times (\%Mo + \%W)] + (16 \times \%N)$ 。

[0484] 320L35M4N不锈钢的这个含钨变体已经专门调配为具有下列组成:

[0485] (i) 铬含量 $\geq 22.00\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 24.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 23.00\text{wt}\%Cr$;

[0486] (ii) 钼含量 $\geq 3.00\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%Mo$,但更优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%Mo$;

[0487] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$;和

[0488] (iv) 钨含量 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。

[0489] 320L35M4N不锈钢的含钨变体具有高规定水平的氮且 $\text{PRE}_{\text{NW}} \geq 41$,但优选地 $\text{PRE}_{\text{NW}} \geq 46$ 。应当强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。钨可以单独添加,或者连同铜、钒、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高该合金的总体腐蚀性能。钨是极其昂贵的,因此有目的地限制钨以优化合金的经济性,同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0490] 碳(C)

[0491] 对于某些应用,320L35M4N不锈钢的其他变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,320L35M4N不锈钢的碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。320L35M4N不锈钢的这些特定变体分别视为320H35M4N或32035M4N版本。

[0492] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0493] 此外,对于某些应用,320H35M4N或32035M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。

[0494] (i) 它们包括被称为320H35M4NTi或32035M4NTi的钛稳定化版本,以与一般320L35M4N版本形成对比。根据下列公式控制钛含量:

[0495] 分别为 $Ti4 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,或 $Ti5 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0496] (ii) 也有铌稳定化的320H35M4NNb或32035M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0497] 分别为 $Nb8 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大值,或 $Nb10 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0498] (iii) 另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的320H35M4NNbTa或32035M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0499] Nb+Ta $\times$ C最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值,或Nb+Ta $\times$ C最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值。

[0500] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钼稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钼可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0501] 320L35M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前的实施例相同的方式被提供。

[0502] 进一步地,提出了另一个变体,适当地被称为320L57M4N高强度奥氏体不锈钢,这是本发明的第八实施例。该320L57M4N不锈钢实际上除了钼含量之外与320L35M4N具有相同的化学组成。因此,仅描述不同之处,而不重复描述各种化学组成。

[0503] [320L57M4N]

[0504] 如上述提到的,320L57M4N与第七实施例320L35M4N不锈钢除了钼含量之外,具有完全相同wt%的碳、锰、磷、硫、氧、硅、铬、镍和氮含量。在320L35M4N中,钼含量在3.00wt%和5.00wt%之间。相比之下,320L57M4N不锈钢的钼含量在5.00wt%和7.00wt%Mo之间。换句话说,320L57M4N可以看作是320L35M4N不锈钢的较高钼含量版本。

[0505] 应当理解的是,除了钼含量之外,关于320L35M4N的段落也适用于此。

[0506] 钼(Mo)

[0507] 320L57M4N不锈钢的钼含量可以为 $\geq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 7.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 6.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。换句话说,320L57M4N的钼含量具有7.00wt%Mo的最大值。

[0508] PRE_N

[0509] 320L57M4N的耐点蚀当量使用与320L35M4N相同的公式计算,但由于钼含量不同,该 PRE_N 为 ≥ 45 ,但优选地 $\text{PRE}_\text{N} \geq 50$ 。这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性、抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该320L57M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0510] 320L57M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶,[Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内,但优选地 >0.45 且 <0.95 ,以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0511] 像320L35M4N实施例一样,320L57M4N不锈钢也含有主要的Fe作为剩余部分,且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁,并且这些元素的组成与320L35M4N的这些元素的组成相同,因而也与304LM4N的这些元素的组成相同。

[0512] 第八实施例的320L57M4N不锈钢具有的最小屈服强度和最小抗拉强度相当于或类似于320L35M4N不锈钢的最小屈服强度和最小抗拉强度。同样地,320L57M4N的锻造版和铸造版的强度性能也相当于320L35M4N的锻造版和铸造版的强度性能。因而,具体强度值在此

不再重复,且参考之前320L35M4N的段落。320L57M4N与传统奥氏体不锈钢UNS S31703之间、以及320L57M4N与UNS S31753/UNS S32053之间的锻造机械强度性能比较,表明更高的屈服强度和抗拉强度的大小,类似于在320L35M4N发现的那些。类似地,320L57M4N抗拉性能的比较表明他们优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉性能,并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉性能,就像320L35M4N一样。

[0513] 这意味着使用锻造320L57M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定320L57M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、S31753和S32053相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造320L57M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0514] 对于某些应用,320L57M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,320L57M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并且铜和钒的组成与320L35M4N的铜和钒的组成以及304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于此处的320L57M4N。

[0515] 钨(W)

[0516] 320L57M4N不锈钢的钨含量与320L35M4N的钨含量类似,并且,320L57M4N的耐点蚀当量、 PRE_{NW} 使用上述提到的320L35M4N所使用的公式计算,且该耐点蚀当量为 $PRE_{NW} \geq 47$,但优选地 $PRE_{NW} \geq 52$,这是由于钼含量的不同造成的。应该是很明显地,关于320L35M4N中钼的使用与影响的段落也适用于320L57M4N。

[0517] 进一步地,320L57M4N可以具有较高水平的碳,被称为320H57M4N或32057M4N,分别对应于之前讨论的320H35M4N和32035M4N,并且之前讨论的碳wt%范围也适用于320H57M4N和32057M4N。

[0518] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0519] 此外,对于某些应用,320H57M4N或32057M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。

[0520] (i)它们包括被称为320H57M4NTi或32057M4NTi的钛稳定化版本,以与一般320L57M4N形成对比。根据下列公式控制钛含量:

[0521] 分别为 $Ti_4 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,或 $Ti_5 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0522] (ii)也有铌稳定化的320H57M4NNb或32057M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0523] 分别为 $Nb_8 \times C$ 最小值 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大值,或 $Nb_{10} \times C$ 最小值 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0524] (iii)另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的320H57M4NNbTa或32057M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0525] $Nb+Ta_8 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb+Ta$ 最大值、 $0.10\text{wt}\%Ta$ 最大值,或 $Nb+Ta_{10} \times C$ 最小值、

1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值。

[0526] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0527] 320L57M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前实施例相同的方式被提供。

[0528] 进一步地,提出另一个变体,在这个说明书中适当地称为326L35M4N,这是本发明的第九实施例。

[0529] [326L35M4N]

[0530] 326L35M4N高强度奥氏体不锈钢具有高水平的氮,且具体耐点蚀当量 $PRE_N \geq 42$,但优选地 $PRE_N \geq 47$ 。被称为 PRE_N 的耐点蚀当量根据该公式计算:

[0531] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ 。

[0532] 326L35M4N不锈钢已经被调配为具有高机械强度性能与优异的延性和韧性的独特组合,以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀性。326L35M4N不锈钢的化学组成是选择性的,并以如下重量(wt)百分比的化学元素的合金为特征:0.030wt%C最大值,2.00wt%Mn最大值,0.030wt%P最大值,0.010wt%S最大值,0.75wt%Si最大值,24.00wt%Cr-26.00wt%Cr,19.00wt%Ni-23.00wt%Ni,3.00wt%Mo-5.00wt%Mo,0.40wt%N-0.70wt%N。

[0533] 326L35M4N不锈钢还含有主要的Fe作为剩余部分,且也可能含有非常少量的其他元素,比如0.010wt%B最大值,0.10wt%Ce最大值,0.050wt%Al最大值,0.01wt%Ca最大值和/或0.01wt%Mg最大值以及通常以残留水平存在的其他杂质。

[0534] 326L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化,以主要确保基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后具有奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构,通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保合金为奥氏体。因此,326L35M4N不锈钢表现出环境温度下的高强度和延性的独特组合,并同时保证了环境温度及低温下的优异韧性。鉴于326L35M4N不锈钢的化学组成被调节为达到 $PRE_N \geq 42$ 、但优选地 $PRE_N \geq 47$ 的事实,这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNSS31753相比,326L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。

[0535] 已确定,326L35M4N不锈钢的最优化学组成范围是精心选择的以包括基于第九实施例的如下重量百分比的化学元素:

[0536] 碳(C)

[0537] 326L35M4N不锈钢的碳含量为 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 最大值。优选地,碳的含量应该为 $\geq 0.020\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 且更优选地 $\leq 0.025\text{wt}\%C$ 。

[0538] 锰(Mn)

[0539] 第九实施例的326L35M4N不锈钢可以有两种变化形式:低锰或高锰。

[0540] 对于低锰合金,326L35M4N不锈钢的锰含量为 $\leq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。优选地,范围为 $\geq 1.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$,且更优选地 $\geq 1.20\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%\text{Mn}$ 。通过这种组成,达到了Mn对N的 ≤ 5.0 的最优比率,且优选地 ≥ 1.42 且 ≤ 5.0 。更优选地,该比率为 ≥ 1.42 且 ≤ 3.75 。

[0541] 对于高锰合金,326L35M4N的锰含量为 $\leq 4.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。优选地,锰含量为 $\geq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 4.0\text{wt}\%\text{Mn}$,且更优选地,上限为 $\leq 3.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。甚至更优选地,上限为 $\leq 2.50\text{wt}\%\text{Mn}$ 。通过这些选择的范围,达到了Mn对N的 ≤ 10.0 的比率,且优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 10.0 。更优选地,对于高锰合金,Mn对N的比率为 ≥ 2.85 且 ≤ 7.50 ,对于更高锰范围合金,且更优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 6.25 。

[0542] 磷(P)

[0543] 326L35M4N不锈钢的磷含量被控制为 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{P}$ 。优选地,该326L35M4N合金具有 $\leq 0.025\text{wt}\%\text{P}$ 且更优选地 $\leq 0.020\text{wt}\%\text{P}$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.015\text{wt}\%\text{P}$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{P}$ 。

[0544] 硫(S)

[0545] 第九实施例的326L35M4N不锈钢的硫含量包括 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{S}$ 。优选地,该326L35M4N具有 $\leq 0.005\text{wt}\%\text{S}$ 且更优选地 $\leq 0.003\text{wt}\%\text{S}$,且甚至更优选地 $\leq 0.001\text{wt}\%\text{S}$ 。

[0546] 氧(O)

[0547] 326L35M4N不锈钢的氧含量被控制为尽可能低,且在第九实施例中,该326L35M4N具有 $\leq 0.070\text{wt}\%\text{O}$ 。优选地,该326L35M4N具有 $\leq 0.050\text{wt}\%\text{O}$ 且更优选地 $\leq 0.030\text{wt}\%\text{O}$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.010\text{wt}\%\text{O}$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.005\text{wt}\%\text{O}$ 。

[0548] 硅(Si)

[0549] 326L35M4N不锈钢的硅含量为 $\leq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 0.25\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 。更优选地,该范围为 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{Si}$ 。然而,对于需要提高抗氧化性能的特定较高温度的应用,硅含量可以为 $\geq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Si}$ 。

[0550] 铬(Cr)

[0551] 326L35M4N不锈钢的铬含量为 $\geq 24.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 且 $\leq 26.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 25.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

[0552] 镍(Ni)

[0553] 326L35M4N不锈钢的镍含量为 $\geq 19.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 且 $\leq 23.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。优选地,该合金的Ni的上限为 $\leq 22.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 且更优选地 $\leq 21.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

[0554] 钼(Mo)

[0555] 326L35M4N不锈钢合金的钼含量为 $\geq 3.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

[0556] 氮(N)

[0557] 326L35M4N不锈钢的氮含量为 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$ 。更优选地,该326L35M4N具有 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。

[0558] PRE_N

[0559] 耐点蚀当量使用该公式计算:

[0560] $\text{PRE}_N = \% \text{Cr} + (3.3 \times \% \text{Mo}) + (16 \times \% \text{N})$ 。

[0561] 该326L35M4N不锈钢已经明确调配为具有下列组成:

[0562] (i) 铬含量 $\geq 24.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 且 $\leq 26.00\text{wt}\%\text{Cr}$, 但优选地 $\geq 25.00\text{wt}\%\text{Cr}$;

[0563] (ii) 钼含量 $\geq 3.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$, 但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$,

[0564] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$, 但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$, 且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$, 且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。

[0565] 通过高水平的氮, 该326L35M4N不锈钢达到了 $\text{PRE}_\text{N} \geq 42$, 但优选地 $\text{PRE}_\text{N} \geq 47$ 。这确保了合金在宽范围的加工环境下具有良好的抗全面腐蚀性、抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时, 该326L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是, 这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0566] 326L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶, $[\text{Cr}]$ 当量除以 $[\text{Ni}]$ 当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内, 但优选地 >0.45 且 <0.95 , 以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构, 该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制, 以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0567] 326L35M4N不锈钢也具有主要的Fe作为剩余部分, 且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁, 并且这些元素的组成与304LM4N中这些元素的组成相同。换句话说, 关于304LM4N中这些元素的段落也适用于此。

[0568] 根据第九实施例, 326L35M4N不锈钢对于锻造版具有55ksi或380MPa的最小屈服强度。更优选地, 对于锻造版可以达到62ksi或430MPa的最小屈服强度。铸造版具有41ksi或280MPa的最小屈服强度。更优选地, 对于铸造版可以达到48ksi或330MPa的最小屈服强度。基于优选值, 326L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比, 表明326L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31703的最小屈服强度高2.1倍。类似地, 326L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比, 表明326L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31753的最小屈服强度高1.79倍。同样地, 326L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S32615的锻造机械强度性能相比, 表明326L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S32615的最小屈服强度高1.95倍。

[0569] 根据第九实施例, 326L35M4N不锈钢对于锻造版具有102ksi或700MPa的最小抗拉强度。更优选地, 对于锻造版可以达到109ksi或750MPa的最小抗拉强度。铸造版具有95ksi或650MPa的最小抗拉强度。更优选地, 对于铸造版可以达到102ksi或700MPa的最小抗拉强度。基于优选值, 326L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比, 表明326L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31703的最小抗拉强度高1.45倍以上。类似地, 326L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比, 表明326L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31753的最小抗拉强度高1.36倍。同样地, 326L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S32615的锻造机械强度性能相比, 表明326L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S32615的最小抗拉强度高1.36倍。实际上, 如果326L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与22Cr双相不锈钢

的锻造机械强度性能相比,那么可以表明326L35M4N不锈钢的最小抗拉强度比规定用于S31803的最小抗拉强度高1.2倍左右,并类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的最小抗拉强度。因此,326L35M4N不锈钢的最小机械强度性能与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、UNS S31753和UNS S32615相比已经显著提高,并且抗拉强度性能优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉强度性能并类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉强度性能。

[0570] 这意味着使用锻造326L35M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定326L35M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、UNS S31753和UNS S32615相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造326L35M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0571] 对于某些应用,326L35M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,326L35M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并且铜和钒的组成与304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于320L35M4N。

[0572] 钨(W)

[0573] 326L35M4N不锈钢的钨含量为 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$,且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。对于326L35M4N不锈钢含钨变体,耐点蚀当量使用该公式计算:

[0574] $PRE_{NW} = \%Cr + [3.3 \times \%(\text{Mo} + W)] + (16 \times \%N)$ 。

[0575] 326L35M4N不锈钢的这个含钨变体已经专门调配为具有下列组成:

[0576] (i) 铬含量 $\geq 24.00\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 26.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 25.00\text{wt}\%Cr$;

[0577] (ii) 钼含量 $\geq 3.00\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%Mo$,但更优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%Mo$;

[0578] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$;和

[0579] (iv) 钨含量 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。

[0580] 326L35M4N不锈钢的含钨变体具有高规定水平的氮且 $PRE_{NW} \geq 44$,但优选地 $PRE_{NW} \geq 49$ 。应当强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。钨可以单独添加,或者连同铜、钒、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高该合金的总体腐蚀性能。钨是极其昂贵的,因此有目的地限制钨以优化合金的经济性,同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0581] 碳(C)

[0582] 对于某些应用,326L35M4N不锈钢的其他变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,320L35M4N不锈钢的碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。326L35M4N不锈钢的这些特定变体分别视为326H35M4N或32635M4N版本。

[0583] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0584] 此外,对于某些应用,326H35M4N或32635M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%$

C。

[0585] (i)它们包括被称为326H35M4NTi或32635M4NTi的钛稳定化版本,以与一般326L35M4N版本形成对比。根据下列公式控制钛含量:

[0586] 分别为 $Ti4 \times C$ 最小值、0.70wt%Ti最大值,或 $Ti5 \times C$ 最小值、0.70wt%Ti最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0587] (ii)也有铌稳定化的326H35M4NNb或32635M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0588] 分别为 $Nb8 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb最大值,或 $Nb10 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0589] (iii)另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的326H35M4NNbTa或32635M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0590] $Nb+Ta8 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值,或 $Nb+Ta10 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值。

[0591] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0592] 326L35M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前的实施例相同的方式被提供。

[0593] 进一步地,提出了另一个变体,适当地称为326L57M4N高强度奥氏体不锈钢,这是本发明的第十实施例。该326L57M4N不锈钢实际上除了钼含量之外与326L35M4N不锈钢具有相同的化学组成。因此,仅描述不同之处,而不重复描述各种化学组成。

[0594] [326L57M4N]

[0595] 如上述提到的,326L57M4N与第九实施例326L35M4N不锈钢除了钼含量之外,具有完全相同wt%的碳、锰、磷、硫、氧、硅、铬、镍和氮含量。在326L35M4N中,钼含量在3.00wt%和5.00wt%之间。相比之下,326L57M4N不锈钢的钼含量在5.00wt%和7.00wt%Mo之间。换句话说,326L57M4N可以看作是326L35M4N不锈钢的较高钼含量版本。

[0596] 应当理解的是,除了钼含量之外,关于326L35M4N的段落也适用于此。

[0597] 钼(Mo)

[0598] 326L57M4N不锈钢的钼含量可以为 $\geq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 7.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 6.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 7.00\text{wt}\%\text{Mo}$,且更优选地 $\geq 6.50\text{wt}\%\text{Mo}$ 。换句话说,326L57M4N的钼含量具有7.00wt%Mo的最大值。

[0599] PRE_N

[0600] 326L57M4N的耐点蚀当量使用与326L35M4N相同的公式计算,但由于钼含量,该PRE_N为 ≥ 48.5 ,但优选地PRE_N ≥ 53.5 。这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该326L57M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0601] 326L57M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶, [Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内, 但优选地 >0.45 且 <0.95 , 以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构, 该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制, 以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0602] 像326L35M4N实施例一样, 326L57M4N不锈钢也含有主要的Fe作为剩余部分, 且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁, 并且这些元素的组成与326L35M4N的这些元素的组成相同, 因而也与304LM4N的这些元素的组成相同。

[0603] 第十实施例的326L57M4N不锈钢具有的最小屈服强度和最小抗拉强度相当于或类似于326L35M4N不锈钢的最小屈服强度和最小抗拉强度。同样地, 326L57M4N的锻造版和铸造版的强度性能也相当于326L35M4N的锻造版和铸造版的强度性能。因而, 具体强度值在此不再重复, 且参考之前326L35M4N的段落。326L57M4N与传统奥氏体不锈钢UNS S31703之间、以及326L57M4N与UNS S31753/UNS S32615之间的锻造机械强度性能比较, 表明更高的屈服强度和抗拉强度的大小, 类似于在326L35M4N发现的那些。类似地, 326L57M4N抗拉性能的比较表明他们优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉性能, 并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉性能, 就像326L35M4N一样。

[0604] 这意味着使用锻造326L57M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚, 因此, 当规定326L57M4N不锈钢时, 与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、S31753和S32615相比, 由于最小容许设计应力显著更高, 将导致显著的重量节省。事实上, 锻造326L57M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力, 且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0605] 对于某些应用, 326L57M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造, 包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定, 326L57M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的, 并且铜和钒的组成与326L35M4N的铜和钒的组成以及304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说, 关于304LM4N的这些元素的段落也适用于此处的326L57M4N。

[0606] 钨(W)

[0607] 326L57M4N不锈钢的钨含量与326L35M4N的钨含量类似, 并且, 326L57M4N的耐点蚀当量、PRE_{NW}使用上述提到的326L35M4N所使用的公式计算, 且该耐点蚀当量为 $PRE_{NW} \geq 50.5$, 但优选地 $PRE_{NW} \geq 55.5$, 这是由于钨含量的不同造成的。应该是很明显地, 关于326L35M4N中钨的使用与影响的段落也适用于326L57M4N。

[0608] 进一步地, 326L57M4N可以具有较高水平的碳, 称为326H57M4N或32657M4N, 分别对应于之前讨论的326H35M4N和32635M4N, 并且之前讨论的碳wt%范围也适用于326H57M4N和32657M4N。

[0609] 钛(Ti)/铌(Nb)/钽(Nb)加钽(Ta)

[0610] 此外, 对于某些应用, 326H57M4N或32657M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的, 这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地, 碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $<0.10\text{wt}\%C$, 但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $>0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$, 但优选地 $<0.040\text{wt}\%$

C。

[0611] (i)它们包括被称为326H57M4NTi或32657M4NTi的钛稳定化版本,以与一般326L57M4N形成对比。根据下列公式控制钛含量:

[0612] 分别为 $Ti4 \times C$ 最小值、0.70wt%Ti最大值,或 $Ti5 \times C$ 最小值、0.70wt%Ti最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0613] (ii)也有铌稳定化的326H57M4NNb或32657M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0614] 分别为 $Nb8 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb最大值,或 $Nb10 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0615] (iii)另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的326H57M4NNbTa或32657M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0616] $Nb+Ta8 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值,或 $Nb+Ta10 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值。

[0617] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0618] 326L57M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前实施例相同的方式被提供。

[0619] 进一步地,提出另一个变体,在这个说明书中适当地称为351L35M4N,这是本发明的第十一实施例。

[0620] [351L35M4N]

[0621] 351L35M4N不锈钢具有高水平的氮,且具体耐点蚀当量 $PRE_N \geq 44$,但优选地 $PRE_N \geq 49$ 。被称为 PRE_N 的耐点蚀当量根据该公式计算:

[0622] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ 。

[0623] 351L35M4N不锈钢已经被调配为具有高机械强度性能与优异的延性和韧性的独特组合,以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀性。351L35M4N不锈钢的化学组成是选择性的,并以如下重量(wt)百分比的化学元素的合金为特征:0.030wt%C最大值,2.00wt%Mn最大值,0.030wt%P最大值,0.010wt%S最大值,0.75wt%Si最大值,26.00wt%Cr-28.00wt%Cr,21.00wt%Ni-25.00wt%Ni,3.00wt%Mo-5.00wt%Mo,0.40wt%N-0.70wt%N。

[0624] 351L35M4N不锈钢还含有主要的Fe作为剩余部分,且也可能含有非常少量的其他元素,比如0.010wt%B最大值,0.10wt%Ce最大值,0.050wt%Al最大值,0.01wt%Ca最大值和/或0.01wt%Mg最大值以及通常以残留水平存在的其他杂质。

[0625] 351L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化,以主要确保基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后具有奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构,通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保合金为奥氏体。因此,351L35M4N不锈钢表现出环境温度下的高强度和延性的独特

组合,并同时保证了环境温度及低温下的优异韧性。鉴于351L35M4N不锈钢的化学组成被调节为达到 $PRE_N \geq 44$ 、但优选地 $PRE_N \geq 49$ 的事实,这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比,351L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。

[0626] 已确定,351L35M4N不锈钢的最优化学组成范围是精心选择的以包括基于第十一实施例的如下重量百分比的化学元素:

[0627] 碳(C)

[0628] 351L35M4N不锈钢的碳含量为 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 最大值。优选地,碳的含量应该为 $\geq 0.020\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 且更优选地 $\leq 0.025\text{wt}\%C$ 。

[0629] 锰(Mn)

[0630] 第十一实施例的351L35M4N不锈钢可以有两种变化形式:低锰或高锰。

[0631] 对于低锰合金,351L35M4N不锈钢的锰含量为 $\leq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。优选地,范围为 $\geq 1.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$,且更优选地 $\geq 1.20\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%\text{Mn}$ 。通过这种组成,达到了Mn对N的 ≤ 5.0 的最优比率,且优选地 ≥ 1.42 且 ≤ 5.0 。更优选地,该比率为 ≥ 1.42 且 ≤ 3.75 。

[0632] 对于高锰合金,351L35M4N的锰含量为 $\leq 4.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。优选地,锰含量为 $\geq 2.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 4.0\text{wt}\%\text{Mn}$,且更优选地,上限为 $\leq 3.0\text{wt}\%\text{Mn}$ 。甚至更优选地,上限为 $\leq 2.50\text{wt}\%\text{Mn}$ 。通过这些选择的范围,达到了Mn对N的 ≤ 10.0 的比率,且优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 10.0 。更优选地,对于高锰合金,Mn对N的比率为 ≥ 2.85 且 ≤ 7.50 ,且更优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 6.25 。

[0633] 磷(P)

[0634] 351L35M4N不锈钢的磷含量被控制为 $\leq 0.030\text{wt}\%P$ 。优选地,该351L35M4N合金具有 $\leq 0.025\text{wt}\%P$ 且更优选地 $\leq 0.020\text{wt}\%P$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.015\text{wt}\%P$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\%P$ 。

[0635] 硫(S)

[0636] 第十一实施例的351L35M4N不锈钢的硫含量包括 $\leq 0.010\text{wt}\%S$ 。优选地,该351L35M4N具有 $\leq 0.005\text{wt}\%S$ 且更优选地 $\leq 0.003\text{wt}\%S$,且甚至更优选地 $\leq 0.001\text{wt}\%S$ 。

[0637] 氧(O)

[0638] 351L35M4N不锈钢的氧含量被控制为尽可能低,且在第十一实施例中,该351L35M4N具有 $\leq 0.070\text{wt}\%O$ 。优选地,该351L35M4N具有 $\leq 0.050\text{wt}\%O$ 且更优选地 $\leq 0.030\text{wt}\%O$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.010\text{wt}\%O$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.005\text{wt}\%O$ 。

[0639] 硅(Si)

[0640] 351L35M4N不锈钢的硅含量为 $\leq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 0.25\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 。更优选地,该范围为 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{Si}$ 。然而,对于需要提高抗氧化性能的特定较高温度的应用,硅含量可以为 $\geq 0.75\text{wt}\%\text{Si}$ 且 $\leq 2.00\text{wt}\%\text{Si}$ 。

[0641] 铬(Cr)

[0642] 351L35M4N不锈钢的铬含量为 $\geq 26.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 且 $\leq 28.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。优选地,该合金具有 $\geq 27.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 。

[0643] 镍(Ni)

[0644] 351L35M4N不锈钢的镍含量为 $\geq 21.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 且 $\leq 25.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。优选地,该合金的Ni

的上限为 $\leq 24.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 且更优选地 $\leq 23.00\text{wt}\%\text{Ni}$ 。

[0645] 钼(Mo)

[0646] 351L35M4N不锈钢的钼含量为 $\geq 3.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。

[0647] 氮(N)

[0648] 351L35M4N不锈钢的氮含量为 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$ 。更优选地,该351L35M4N具有 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。

[0649] PRE_N

[0650] 耐点蚀当量使用该公式计算:

[0651] $\text{PRE}_N = \% \text{Cr} + (3.3 \times \% \text{Mo}) + (16 \times \% \text{N})$ 。

[0652] 该351L35M4N不锈钢已经明确调配为具有下列组成:

[0653] (i) 铬含量 $\geq 26.00\text{wt}\%\text{Cr}$ 且 $\leq 28.00\text{wt}\%\text{Cr}$,但优选地 $\geq 27.00\text{wt}\%\text{Cr}$;

[0654] (ii) 钼含量 $\geq 3.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%\text{Mo}$,

[0655] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%\text{N}$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%\text{N}$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%\text{N}$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%\text{N}$ 。

[0656] 通过高水平的氮,该351L35M4N不锈钢达到了 $\text{PRE}_N \geq 44$,但优选地 $\text{PRE}_N \geq 49$ 。这确保了合金在宽范围的加工环境下具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该351L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0657] 351L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶, $[\text{Cr}]$ 当量除以 $[\text{Ni}]$ 当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内,但优选地 >0.45 且 <0.95 ,以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0658] 351L35M4N不锈钢也具有主要的Fe作为剩余部分,且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁,并且这些元素的组成与304LM4N中这些元素的组成相同。换句话说,关于304LM4N中这些元素的段落也适用于此。

[0659] 根据第十一实施例,351L35M4N不锈钢对于锻造版具有55ksi或380MPa的最小屈服强度。更优选地,对于锻造版可以达到62ksi或430MPa的最小屈服强度。铸造版具有41ksi或280MPa的最小屈服强度。更优选地,对于铸造版可以达到48ksi或330MPa的最小屈服强度。基于优选值,351L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比,表明351L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31703的最小屈服强度高2.1倍。类似地,351L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比,表明351L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31753的最小屈服强度高1.79倍。同样地,351L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S35115的锻造机械强度性能相比,表明351L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S35115的最小屈服强

度高1.56倍。

[0660] 根据第十一实施例,351L35M4N不锈钢对于锻造版具有102ksi或700MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于锻造版可以达到109ksi或750MPa的最小抗拉强度。铸造版具有95ksi或650MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于铸造版可以达到102ksi或700MPa的最小抗拉强度。基于优选值,351L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比,表明351L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31703的最小抗拉强度高1.45倍以上。类似地,351L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比,表明351L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31753的最小抗拉强度高1.36倍。同样地,351L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S35115的锻造机械强度性能相比,表明351L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S35115的最小抗拉强度高1.28倍。实际上,如果351L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与22Cr双相不锈钢的锻造机械强度性能相比,那么可以表明351L35M4N不锈钢的最小抗拉强度比规定用于S31803高1.2倍左右,并类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的最小抗拉强度。因此,351L35M4N不锈钢的最小机械强度性能与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、UNS S31753和UNS S35115相比已经显著提高,并且抗拉强度性能优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉强度性能,并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉强度性能。

[0661] 这意味着使用锻造351L35M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定351L35M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、S31753和S35115相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造351L35M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0662] 对于某些应用,351L35M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,351L35M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并且铜和钒的组成与304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于351L35M4N。

[0663] 钨(W)

[0664] 351L35M4N不锈钢的钨含量为 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$,且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。对于351L35M4N不锈钢含钨变体,耐点蚀当量使用公式计算:

[0665] $PRE_{NW} = \%Cr + [3.3 \times (\%Mo + \%W)] + (16 \times \%N)$ 。

[0666] 351L35M4N不锈钢的这个含钨变体已经专门调配为具有下列组成:

[0667] (i) 铬含量 $\geq 26.00\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 28.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 27.00\text{wt}\%Cr$;

[0668] (ii) 钼含量 $\geq 3.00\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%Mo$,但更优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%Mo$;

[0669] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$;和

[0670] (iv) 钨含量 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。

[0671] 351L35M4N不锈钢的含有钨的变体具有高规定水平的氮且 $PRE_{NW} \geq 46$,但优选地 $PRE_{NW} \geq 51$ 。应当强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。钨可以单独添加,或者连同铜、钒、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种

组合的形式一起添加,以进一步提高该合金的总体腐蚀性能。钨是极其昂贵的,因此有目的地限制钨以优化合金的经济性,同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0672] 碳(C)

[0673] 对于某些应用,351L35M4N不锈钢的其他变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,351L35M4N不锈钢的碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。351L35M4N不锈钢的这些特定变体分别视为351H35M4N或35135M4N版本。

[0674] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0675] 此外,对于某些应用,351H35M4N或35135M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。

[0676] (i)它们包括称为351H35M4NTi或35135M4NTi的钛稳定化版本,以与一般351L35M4N版本形成对比。

[0677] 根据下列公式控制钛含量:

[0678] 分别为 $Ti_4 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,或 $Ti_5 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0679] (ii)也有铌稳定化的351H35M4NNb或35135M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0680] 分别为 $Nb_8 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大值,或 $Nb_{10} \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0681] (iii)另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的351H35M4NNbTa或35135M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0682] $Nb+Ta_8 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb+Ta$ 最大值、 $0.10\text{wt}\%Ta$ 最大值,或 $Nb+Ta_{10} \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb+Ta$ 最大值、 $0.10\text{wt}\%Ta$ 最大值。

[0683] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0684] 351L35M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前的实施例相同的方式被提供。

[0685] 进一步地,提出了另一个变体,适当地称为351L57M4N高强度奥氏体不锈钢,这是本发明的第十二实施例。该351L57M4N不锈钢实际上除了钼含量之外与351L35M4N不锈钢具有相同的化学组成。因此,仅描述不同之处,而不重复描述各种化学组成。

[0686] [351L57M4N]

[0687] 如上述提到的,351L57M4N与第十一实施例351L35M4N不锈钢除了钼含量之外,具有完全相同wt%的碳、锰、磷、硫、氧、硅、铬、镍和氮含量。在351L35M4N中,钼含量在 $3.00\text{wt}\%$ 和 $5.00\text{wt}\%Mo$ 之间。相比之下,351L57M4N不锈钢的钼含量在 $5.00\text{wt}\%$ 和 $7.00\text{wt}\%Mo$ 之间。换句

话说,351L57M4N可以看作是351L35M4N不锈钢的较高钼含量版本。

[0688] 应当理解的是,除了钼含量之外,关于351L35M4N的段落也适用于此。

[0689] 钼(Mo)

[0690] 351L57M4N不锈钢的钼含量可以为 $\geq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 7.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 5.50\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 6.50\text{wt}\%\text{Mo}$,且更优选地 $\geq 6.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。换句话说,351L57M4N的钼含量具有 $7.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 的最大值。

[0691] PRE_N

[0692] 351L57M4N的耐点蚀当量使用与351L35M4N相同的公式计算,但由于钼含量,该PRE_N为 ≥ 50.5 ,但优选地PRE_N ≥ 55.5 。这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该351L57M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0693] 351L57M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶,[Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内,但优选地 >0.45 且 <0.95 ,以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0694] 像351L35M4N实施例一样,351L57M4N不锈钢也包括主要的Fe作为剩余部分,且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁,并且这些元素的组成与351L35M4N的这些元素的组成相同,因而也与304LM4N的这些元素的组成相同。

[0695] 第十二实施例的351L57M4N不锈钢具有的最小屈服强度和最小抗拉强度相当于或类似于351L35M4N不锈钢的最小屈服强度和最小抗拉强度。同样地,351L57M4N的锻造版和铸造版的强度性能也相当于351L35M4N的锻造版和铸造版的强度性能。因而,具体强度值在此不再重复,且参考之前351L35M4N的段落。351L57M4N与传统奥氏体不锈钢UNS S31703之间、以及351L57M4N与UNS S31753/UNS S35115之间的锻造机械强度性能比较,表明更高的屈服强度和抗拉强度的大小,类似于在351L35M4N发现的那些。类似地,351L57M4N抗拉性能的比较表明他们优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉性能,并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉性能,就像351L35M4N一样。

[0696] 这意味着使用锻造351L57M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定351L57M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、S31753和S35115相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造351L57M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0697] 对于某些应用,351L57M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,351L57M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并且铜和钒的组成与351L35M4N的铜和钒的组成以及304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于此处的351L57M4N。

[0698] 钨(W)

[0699] 351L57M4N不锈钢的钨含量与351L35M4N的钨含量类似,并且,351L57M4N的耐点蚀当量、 PRE_{NW} 使用上述提到的351L35M4N所使用的公式计算,且该耐点蚀当量为 $PRE_{NW} \geq 52.5$,但优选地 $PRE_{NW} \geq 57.5$,这是由于钼含量的不同造成的。应该是很明显地,关于351L35M4N中钼的使用与影响的段落也适用于351L57M4N。

[0700] 进一步地,351L57M4N可以具有较高水平的碳,称为351H57M4N或35157M4N,分别对应于之前讨论的351H35M4N和35135M4N,并且之前讨论的碳wt%范围也适用于351H57M4N和35157M4N。

[0701] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0702] 此外,对于某些应用,351H57M4N或35157M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。

[0703] (i)它们包括被称为351H57M4NTi或35157M4NTi的钛稳定化版本,以与一般351L57M4N形成对比。

[0704] 根据下列公式控制钛含量:

[0705] 分别为 $Ti_4 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,或 $Ti_5 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0706] (ii)也有铌稳定化的351H57M4NNb或35157M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0707] 分别为 $Nb_8 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大值或 $Nb_{10} \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0708] (iii)另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的351H57M4NNbTa或35157M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0709] $Nb+Ta_8 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb+Ta$ 最大值、 $0.10\text{wt}\%Ta$ 最大值,或 $Nb+Ta_{10} \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb+Ta$ 最大值、 $0.10\text{wt}\%Ta$ 最大值。

[0710] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0711] 351L57M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前实施例相同的方式被提供。

[0712] 进一步地,提出另一个变体,在这个说明书中适当地称为353L35M4N,这是本发明的第十三实施例。

[0713] [353L35M4N]

[0714] 353L35M4N不锈钢具有高水平的氮,且具体耐点蚀当量 $PRE_N \geq 46$,但优选地 $PRE_N \geq 51$ 。被称为 PRE_N 的耐点蚀当量根据该公式计算:

[0715] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ 。

[0716] 353L35M4N不锈钢已经被调配为具有高机械强度性能与优异的延性和韧性的独特组合,以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀性。353L35M4N不锈钢的化学组成是选择性的,并以如下重量(wt)百分比的化学元素的合金为特征:0.030wt%C最大值,2.00wt%Mn最大值,0.030wt%P最大值,0.010wt%S最大值,0.75wt%Si最大值,28.00wt%Cr-30.00wt%Cr,23.00wt%Ni-27.00wt%Ni,3.00wt%Mo-5.00wt%Mo,0.40wt%N-0.70wt%N。

[0717] 353L35M4N不锈钢还含有主要的Fe作为剩余部分,且也可能含有非常少量的其他元素,比如0.010wt%B最大值,0.10wt%Ce最大值,0.050wt%Al最大值,0.01wt%Ca最大值和/或0.01wt%Mg最大值以及通常以残留水平存在的其他杂质。

[0718] 353L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化,以主要确保基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后具有奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构,通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保合金为奥氏体。因此,353L35M4N不锈钢表现出环境温度下的高强度和延性的独特组合,并同时保证了环境温度及低温下的优异韧性。鉴于353L35M4N不锈钢的化学分析被调节为达到 $PRE_N \geq 46$ 、但优选地 $PRE_N \geq 51$ 的事实,这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比,353L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。

[0719] 已确定,353L35M4N不锈钢的最优化学组成范围是精心选择的以包括基于第十三实施例的如下重量百分比的化学元素:

[0720] 碳(C)

[0721] 353L35M4N不锈钢的碳含量为 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 最大值。优选地,碳的含量应该为 $\geq 0.020\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.030\text{wt}\%C$ 且更优选地 $\leq 0.025\text{wt}\%C$ 。

[0722] 锰(Mn)

[0723] 第十三实施例的353L35M4N不锈钢可以有两种变化形式:低锰或高锰。

[0724] 对于低锰合金,353L35M4N不锈钢的锰含量为 $\leq 2.0\text{wt}\%Mn$ 。优选地,范围为 $\geq 1.0\text{wt}\%Mn$ 且 $\leq 2.0\text{wt}\%Mn$,且更优选地 $\geq 1.20\text{wt}\%Mn$ 且 $\leq 1.50\text{wt}\%Mn$ 。通过这种组成,达到了Mn对N的 ≤ 5.0 的最优比率,且优选地 ≥ 1.42 且 ≤ 5.0 。更优选地,该比率为 ≥ 1.42 且 ≤ 3.75 。

[0725] 对于高锰合金,353L35M4N的锰含量为 $\leq 4.0\text{wt}\%Mn$ 。优选地,锰含量为 $\geq 2.0\text{wt}\%Mn$ 且 $\leq 4.0\text{wt}\%Mn$,且更优选地,上限为 $\leq 3.0\text{wt}\%Mn$ 。甚至更优选地,上限为 $\leq 2.50\text{wt}\%Mn$ 。通过这些选择的范围,达到了Mn对N的 ≤ 10.0 的比率,且优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 10.0 。更优选地,高锰合金的Mn对N的比率为 ≥ 2.85 且 ≤ 7.50 ,且更优选地 ≥ 2.85 且 ≤ 6.25 。

[0726] 磷(P)

[0727] 353L35M4N不锈钢的磷含量被控制为 $\leq 0.030\text{wt}\%P$ 。优选地,该353L35M4N合金具有 $\leq 0.025\text{wt}\%P$ 且更优选地 $\leq 0.020\text{wt}\%P$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.015\text{wt}\%P$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.010\text{wt}\%P$ 。

[0728] 硫(S)

[0729] 第十三实施例的353L35M4N不锈钢的硫含量包括 $\leq 0.010\text{wt}\%S$ 。优选地,该353L35M4N具有 $\leq 0.005\text{wt}\%S$ 且更优选地 $\leq 0.003\text{wt}\%S$,且甚至更优选地 $\leq 0.001\text{wt}\%S$ 。

[0730] 氧(O)

[0731] 353L35M4N不锈钢的氧含量被控制为尽可能低,且在第十三实施例中,该353L35M4N具有 $\leq 0.070\text{wt}\%$ 。优选地,该353L35M4N具有 $\leq 0.050\text{wt}\%$ 且更优选地 $\leq 0.030\text{wt}\%$ 。甚至更优选地,该合金具有 $\leq 0.010\text{wt}\%$ 且甚至进一步更优选地 $\leq 0.005\text{wt}\%$ 。

[0732] 硅(Si)

[0733] 353L35M4N不锈钢的硅含量为 $\leq 0.75\text{wt}\%$ Si。优选地,该合金具有 $\geq 0.25\text{wt}\%$ Si且 $\leq 0.75\text{wt}\%$ Si。更优选地,该范围为 $\geq 0.40\text{wt}\%$ Si且 $\leq 0.60\text{wt}\%$ Si。然而,对于需要提高抗氧化性能的特定较高温度的应用,硅含量可以为 $\geq 0.75\text{wt}\%$ Si且 $\leq 2.00\text{wt}\%$ Si。

[0734] 铬(Cr)

[0735] 353L35M4N不锈钢的铬含量为 $\geq 28.00\text{wt}\%$ Cr且 $\leq 30.00\text{wt}\%$ Cr。优选地,该合金具有 $\geq 29.00\text{wt}\%$ Cr。

[0736] 镍(Ni)

[0737] 353L35M4N不锈钢的镍含量为 $\geq 23.00\text{wt}\%$ Ni且 $\leq 27.00\text{wt}\%$ Ni。优选地,该合金的Ni的上限为 $\leq 26.00\text{wt}\%$ Ni且更优选地 $\leq 25.00\text{wt}\%$ Ni。

[0738] 钼(Mo)

[0739] 353L35M4N不锈钢的钼含量为 $\geq 3.00\text{wt}\%$ Mo且 $\leq 5.00\text{wt}\%$ Mo,但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%$ Mo。

[0740] 氮(N)

[0741] 353L35M4N不锈钢的氮含量为 $\leq 0.70\text{wt}\%$ N,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%$ N且 $\leq 0.70\text{wt}\%$ N。更优选地,该353L35M4N具有 $\geq 0.40\text{wt}\%$ N且 $\leq 0.60\text{wt}\%$ N,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%$ N且 $\leq 0.55\text{wt}\%$ N。

[0742] PRE_N

[0743] 耐点蚀当量使用该公式计算:

[0744] $\text{PRE}_N = \% \text{Cr} + (3.3 \times \% \text{Mo}) + (16 \times \% \text{N})$ 。

[0745] 该353L35M4N不锈钢已经明确制定以具有:

[0746] (i) 铬含量 $\geq 28.00\text{wt}\%$ Cr且 $\leq 30.00\text{wt}\%$ Cr,但优选地 $\geq 29.00\text{wt}\%$ Cr;

[0747] (ii) 钼含量 $\geq 3.00\text{wt}\%$ Mo且 $\leq 5.00\text{wt}\%$ Mo,但优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%$ Mo,

[0748] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%$ N,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%$ N且 $\leq 0.70\text{wt}\%$ N,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%$ N且 $\leq 0.60\text{wt}\%$ N,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%$ N且 $\leq 0.55\text{wt}\%$ N。

[0749] 通过高水平的氮,该353L35M4N不锈钢达到了 $\text{PRE}_N \geq 46$,但优选地 $\text{PRE}_N \geq 51$ 。这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该353L35M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0750] 353L35M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶,[Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内,但优选地 >0.45 且 <0.95 ,以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平

衡来控制,以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0751] 353L35M4N不锈钢也具有主要的Fe作为剩余部分,且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁,并且这些元素的组成与304LM4N中这些元素的组成相同。换句话说,关于304LM4N中这些元素的段落也适用于此。

[0752] 根据第十三实施例,353L35M4N不锈钢对于锻造版具有55ksi或380MPa的最小屈服强度。更优选地,对于锻造版可以达到62ksi或430MPa的最小屈服强度。铸造版具有41ksi或280MPa的最小屈服强度。更优选地,对于铸造版可以达到48ksi或330MPa的最小屈服强度。基于优选值,353L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比,表明353L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31703的最小屈服强度高2.1倍。类似地,353L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比,表明353L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S31753的最小屈服强度高1.79倍。同样地,353L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S35315的锻造机械强度性能相比,表明353L35M4N不锈钢的最小屈服强度可能比规定用于UNS S35315的最小屈服强度高1.59倍。

[0753] 根据第十三实施例,353L35M4N不锈钢对于锻造版具有102ksi或700MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于锻造版可以达到109ksi或750MPa的最小抗拉强度。铸造版具有95ksi或650MPa的最小抗拉强度。更优选地,对于铸造版可以达到102ksi或700MPa的最小抗拉强度。基于优选值,353L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31703的锻造机械强度性能相比,表明353L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31703的最小抗拉强度高1.45倍以上。类似地,353L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S31753的锻造机械强度性能相比,表明353L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S31753的最小抗拉强度高1.36倍。同样地,353L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与UNS S35315的锻造机械强度性能相比,表明353L35M4N不锈钢的最小抗拉强度可能比规定用于UNS S35315的最小抗拉强度高1.15倍。实际上,如果353L35M4N不锈钢的锻造机械强度性能与22Cr双相不锈钢的锻造机械强度性能相比,那么可以表明353L35M4N不锈钢的最小抗拉强度比规定用于S31803的最小抗拉强度高1.2倍左右,并类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的最小抗拉强度。因此,353L35M4N不锈钢的最小机械强度性能与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、UNS S31753和UNS S35315相比已经显著提高,并且抗拉强度性能优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉强度性能,并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉强度性能。

[0754] 这意味着使用锻造353L35M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定353L35M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、S31753和S35315相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造353L35M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0755] 对于某些应用,353L35M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,根据权利要求1的353L35M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并且铜和钒的组成与304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于353L35M4N。

[0756] 钨(W)

[0757] 353L35M4N不锈钢的钨含量为 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$,且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。对于353L35M4N不锈钢含钨变体,耐点蚀当量使用公式计算:

[0758] $PRE_{\text{NW}} = \%Cr + [3.3 \times \%(\text{Mo} + W)] + (16 \times \%N)$ 。

[0759] 353L35M4N不锈钢的这个含钨变体已经专门调配为具有下列组成:

[0760] (i) 铬含量 $\geq 28.00\text{wt}\%Cr$ 且 $\leq 30.00\text{wt}\%Cr$,但优选地 $\geq 29.00\text{wt}\%Cr$;

[0761] (ii) 钼含量 $\geq 3.00\text{wt}\%Mo$ 且 $\leq 5.00\text{wt}\%Mo$,但更优选地 $\geq 4.00\text{wt}\%Mo$;

[0762] (iii) 氮含量 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,但优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.70\text{wt}\%N$,且更优选地 $\geq 0.40\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.60\text{wt}\%N$,且甚至更优选地 $\geq 0.45\text{wt}\%N$ 且 $\leq 0.55\text{wt}\%N$;和

[0763] (iv) 钨含量 $\leq 2.00\text{wt}\%W$,但优选地 $\geq 0.50\text{wt}\%W$ 且 $\leq 1.00\text{wt}\%W$ 且更优选地 $\geq 0.75\text{wt}\%W$ 。

[0764] 353L35M4N不锈钢的含有钨的变体具有高规定水平的氮且 $PRE_{\text{NW}} \geq 48$,但优选地 $PRE_{\text{NW}} \geq 53$ 。应当强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。钨可以单独添加,或者连同铜、钒、钛和/或铌和/或铌加钽这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以进一步提高该合金的总体腐蚀性能。钨是极其昂贵的,因此有目的地限制钨以优化合金的经济性,同时优化该合金的延性、韧性和腐蚀性能。

[0765] 碳(C)

[0766] 对于某些应用,353L35M4N不锈钢的其他变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,353L35M4N的碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。353L35M4N不锈钢的这些特定变体分别视为353H35M4N或35335M4N版本。

[0767] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0768] 此外,对于某些应用,353H35M4N或35335M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳含量可以为 $\geq 0.040\text{wt}\%C$ 且 $< 0.10\text{wt}\%C$,但优选地 $\leq 0.050\text{wt}\%C$ 或 $> 0.030\text{wt}\%C$ 且 $\leq 0.08\text{wt}\%C$,但优选地 $< 0.040\text{wt}\%C$ 。

[0769] (i) 它们包括称为353H35M4NTi或35335M4NTi的钛稳定化版本,以与一般353L35M4N版本形成对比。

[0770] 根据下列公式控制钛含量:

[0771] 分别为 $Ti4 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,或 $Ti5 \times C$ 最小值、 $0.70\text{wt}\%Ti$ 最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0772] (ii) 也有铌稳定化的353H35M4NNb或35335M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0773] 分别为 $Nb8 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大值或 $Nb10 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb$ 最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0774] (iii) 另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的353H35M4NNbTa或35335M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0775] $Nb+Ta8 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb+Ta$ 最大值、 $0.10\text{wt}\%Ta$ 最大值,或 $Nb+Ta10 \times C$ 最小值、 $1.0\text{wt}\%Nb+Ta$ 最大值、 $0.10\text{wt}\%Ta$ 最大值。

[0776] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钼稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钼可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0777] 353L35M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前的实施例相同的方式被提供。

[0778] 进一步地,提出了另一个变体,适当地称为353L57M4N高强度奥氏体不锈钢,这是本发明的第十四实施例。该353L57M4N不锈钢实际上除了钼含量之外与353L35M4N不锈钢具有相同的化学组成。因此,仅描述不同之处,而不重复描述各种化学组成。

[0779] [353L57M4N]

[0780] 如上述提到的,353L57M4N与第十三实施例353L35M4N不锈钢除了钼含量之外,具有完全相同wt%的碳、锰、磷、硫、氧、硅、铬、镍和氮含量。在353L35M4N中,钼含量在3.00wt%和5.00wt%Mo之间。相比之下,353L57M4N不锈钢的钼含量在5.00wt%和7.00wt%Mo之间。换句话说,353L57M4N可以看作是353L35M4N不锈钢的较高钼含量版本。

[0781] 应当理解的是,除了钼含量之外,关于353L35M4N的段落也适用于此。

[0782] 钼(Mo)

[0783] 353L57M4N不锈钢的钼含量可以为 $\geq 5.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 7.00\text{wt}\%\text{Mo}$,但优选地 $\geq 5.50\text{wt}\%\text{Mo}$ 且 $\leq 6.50\text{wt}\%\text{Mo}$,且更优选地 $\geq 6.00\text{wt}\%\text{Mo}$ 。换句话说,353L57M4N的钼含量具有7.00wt%Mo的最大值。

[0784] PRE_N

[0785] 353L57M4N的耐点蚀当量使用与353L35M4N相同的公式计算,但由于钼含量,该PRE_N为 ≥ 52.5 ,但优选地PRE_N ≥ 57.5 。这确保了材料在宽范围的加工环境下也具有良好的抗全面腐蚀性及抗局部腐蚀(点蚀和缝隙腐蚀)性。在含氯化物环境下当与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703和UNS S31753相比时,该353L57M4N不锈钢还提高了抗应力腐蚀开裂性能。应该强调的是,这些等式忽略了微观结构因素对点蚀或缝隙腐蚀引起的钝态破坏的影响。

[0786] 353L57M4N不锈钢的化学组成在熔化阶段被优化以确保根据Schoefer⁶,[Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内,但优选地 >0.45 且 <0.95 ,以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构,该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制,以主要确保该合金为奥氏体。该合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。

[0787] 像353L35M4N一样,353L57M4N不锈钢也包括主要的Fe作为剩余部分,且也可以含有非常少量的其他元素比如以重量百分比计量的硼、铈、铝、钙和/或镁,并且这些元素的组成与353L35M4N的这些元素的组成相同,因而也与304LM4N的这些元素的组成相同。

[0788] 第十四实施例的353L57M4N不锈钢具有的最小屈服强度和最小抗拉强度相当于或类似于353L35M4N不锈钢的最小屈服强度和最小抗拉强度。同样地,353L57M4N的锻造版和铸造版的强度性能也相当于353L35M4N的锻造版和铸造版的强度性能。因而,具体强度值在此不再重复,且参考之前353L35M4N的段落。353L57M4N与传统奥氏体不锈钢UNS S31703之

间、以及353L57M4N与UNS S31753/UNS S35315之间的锻造机械强度性能比较,表明更高的屈服强度和抗拉强度的大小,类似于在353L35M4N发现的那些。类似地,353L57M4N抗拉性能的比较表明他们优于规定用于22Cr双相不锈钢的抗拉性能,并且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的抗拉性能,就像353L35M4N一样。

[0789] 这意味着使用锻造353L57M4N不锈钢的应用可以常常设计为具有减少的壁厚,因此,当规定353L57M4N不锈钢时,与传统奥氏体不锈钢比如UNS S31703、S31753和S35315相比,由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造353L57M4N不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于25Cr超级双相不锈钢。

[0790] 对于某些应用,353L57M4N不锈钢的其他变体已经被有目的地调配以进行制造,包含规定水平的其他合金元素比如铜、钨和钒。已经确定,353L57M4N不锈钢的其他变体的最优化学组成范围是选择性的,并且铜和钒的组成与353L35M4N的铜和钒的组成以及304LM4N的铜和钒的组成相同。换句话说,关于304LM4N的这些元素的段落也适用于此处的353L57M4N。

[0791] 钨(W)

[0792] 353L57M4N不锈钢的钨含量与353L35M4N的钨含量类似,并且,353L57M4N的耐点蚀当量、PRE_{NW}使用上述提到的353L35M4N所使用的公式计算,且该耐点蚀当量为PRE_{NW} ≥ 54.5,但优选地PRE_{NW} ≥ 59.5,这是由于钨含量的不同造成的。应该是很明显地,关于353L35M4N中钨的使用与影响的段落也适用于353L57M4N。

[0793] 进一步地,353L57M4N可以具有较高水平的碳,称为353H57M4N或35357M4N,分别对应于之前讨论的353H35M4N和35335M4N,并且之前讨论的碳wt%范围也适用于353H57M4N和35357M4N。

[0794] 钛(Ti)/铌(Nb)/铌(Nb)加钽(Ta)

[0795] 此外,对于某些应用,353H57M4N或35357M4N不锈钢的其他稳定化变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成包含更高水平的碳。具体地,碳可以为 ≥ 0.040wt%C 且 < 0.10wt%C,但优选地 ≤ 0.050wt%C 或 > 0.030wt%C 且 ≤ 0.08wt%C,但优选地 < 0.040wt%C。

[0796] (i) 它们包括被称为353H57M4NTi或35357M4NTi的钛稳定化版本,以与一般353L57M4N形成对比。根据下列公式控制钛含量:

[0797] 分别为Ti₄ × C最小值、0.70wt%Ti最大值,或Ti₅ × C最小值、0.70wt%Ti最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。

[0798] (ii) 也有铌稳定化的353H57M4NNb或35357M4NNb版本,其中根据下列公式控制铌含量:

[0799] 分别为Nb₈ × C最小值、1.0wt%Nb最大值,或Nb₁₀ × C最小值、1.0wt%Nb最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。

[0800] (iii) 另外,合金的其他变体也可以被制造以包含铌加钽稳定化的353H57M4NNbTa或35357M4NNbTa版本,其中根据下列公式控制铌加钽含量:

[0801] Nb+Ta₈ × C最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值,或Nb+Ta₁₀ × C最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值。

[0802] 合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可在低于初始固溶热处理温度

的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用,以量身定做用于特定应用的不锈钢,并以进一步提高该合金的整体腐蚀性能。

[0803] 353L57M4N不锈钢的锻造版和铸造版以及其他变体通常以与之前实施例相同的方式被提供。

[0804] 所描述的实施例不应该理解为限制性的,并且,除本文描述的实施例之外,其他实施例也可以被调配。例如,上述实施例或奥氏体不锈钢系列的所有不同类型的合金组成以及他们的变体可被生产为对于规定应用具有量身定做的化学组成。其中一个例子为,使用 $>2.00\text{wt}\%\text{Mn}$ 且 $\leq 4.00\text{wt}\%\text{Mn}$ 的较高锰含量,以便通过根据Schoefer⁶提出的等式的按比例的量降低镍含量水平。这将会降低合金的整体成本,因为镍是极其昂贵的。因此,镍含量可以有目的地限制以优化合金的经济性。

[0805] 也可以控制所描述的实施例以满足本文已经定义的其他标准。例如,除锰对氮的比率之外,还控制实施例具有规定的锰对碳+氮的比率。

[0806] 对于“LM4N”,低锰范围合金的类型,这达到了Mn对C+N的 ≤ 4.76 的最优比率,且优选地 ≥ 1.37 且 ≤ 4.76 。更优选地,Mn对C+N的比率为 ≥ 1.37 且 ≤ 3.57 。对于“LM4N”,高锰范围合金的类型,这达到了最优的Mn对C+N的 ≤ 9.52 的比率,且优选地 ≥ 2.74 且 ≤ 9.52 。更优选地,对于这些“LM4N”高锰合金的类型,Mn对C+N的比率为 ≥ 2.74 且 ≤ 7.14 ,且甚至更优选地Mn对C+N的比率为 ≥ 2.74 且 ≤ 5.95 。当前实施例包括下列:304LM4N、316LM4N、317L35M4N、317L57M4N、312L35M4N、312L57M4N、320L35M4N、320L57M4N、326L35M4N和326L57M4N、351L35M4N、351L57M4N、353L35M4N、353L57M4N类型的合金以及他们的变体,这些可以包括高达0.030wt%的碳的最大值。

[0807] 对于“HM4N”,低锰范围合金的类型,这达到了Mn对C+N的 ≤ 4.55 的最优比率,且优选地 ≥ 1.25 且 ≤ 4.55 。更优选地,Mn对C+N的比率为 ≥ 1.25 且 ≤ 3.41 。对于“HM4N”,高锰范围合金的类型,这达到了Mn对C+N的 ≤ 9.10 的最优比率,且优选地 ≥ 2.50 且 ≤ 9.10 。更优选地,对于这些“HM4N”,高锰合金的类型,Mn对C+N的比率为 ≥ 2.50 且 ≤ 6.82 ,且甚至更优选地Mn对C+N的比率为 ≥ 2.50 且 ≤ 5.68 。当前实施例包括下列:304HM4N、316HM4N、317H57M4N、317H35M4N、312H35M4N、312H57M4N、320H35M4N、320H57M4N、326H35M4N、326H57M4N、351H35M4N、351H57M4N、353H35M4N和353H57M4N类型的合金以及他们的变体,这些可以包括从0.040wt%碳直到0.10wt%碳,并且

[0808] 对于“M4N”,低锰范围合金的类型,这达到了Mn对C+N的 ≤ 4.64 的最优比率,且优选地 ≥ 1.28 且 ≤ 4.64 。更优选地,Mn对C+N的比率为 ≥ 1.28 且 ≤ 3.48 。对于“M4N”,高锰范围合金的类型,这达到了Mn对C+N的 ≤ 9.28 的最优比率,且优选地 ≥ 2.56 且 ≤ 9.28 。更优选地,对于这些“M4N”高锰合金的类型,Mn对C+N的比率为 ≥ 2.56 且 ≤ 6.96 ,且甚至更优选地Mn对C+N的比率为 ≥ 2.56 且 ≤ 5.80 。当前实施例包括下列:304M4N、316M4N、31757M4N、31735M4N、31235M4N、31257M4N、32035M4N、32057M4N、32635M4N、32657M4N、35135M4N、35157M4N、35335M4N和35357M4N类型的合金以及他们的变体,这些可以包括从超过0.030wt%碳直到0.080wt%碳。

[0809] N' GENIUSTM高强度奥氏体系列和超级奥氏体不锈钢包括“LM4N”、“HM4N”和“M4N”类

型的合金,以及本文所讨论的其他变体,可以作为用于完整系统的产品和产品包装的范围而被规定并被利用。

[0810] 应该明显地是,对于特定合金组成类型及他们的变体中的具体一个元素(例如铬、镍、钼、碳和氮等)的化学组成范围,也可以适用于其他合金组成类型及他们的变体中的元素。

[0811] 产品、市场、工业部门及应用

[0812] 所提出的N' GENIUS™系列高强度奥氏体和超级奥氏体不锈钢可以被规定为国际标准和规范,并且,鉴于在环境温度和低温下他们的高机械强度性能、优异的延性和韧性,以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性和抗局部腐蚀性,他们可用于一系列使用在海上和陆上这两者的应用。

[0813] 产品

[0814] 产品包括但不限于初级和次级产品,比如钢锭、连铸坯、轧制管材、初轧坯、中小型坯、条材、扁钢条、型材、棒材、线材、焊丝、焊接材料、板材、薄板、带材和卷材、锻件、静态浇铸件、压铸件、离心铸造铸件、粉末冶金制品、热等静压压制件、无缝管线管、无缝管、钻探管、石油工业管材、外壳、冷凝器和热交换器用管、焊缝管、焊接钢管、管状产品、感应加热弯管、对接焊接接头、无缝配件、紧固件、螺栓、螺钉和螺柱、冷拔钢筋和冷轧钢筋、棒线材、冷拔管和冷轧管、法兰、紧凑型法兰、卡锁连接器、锻制接头、泵、阀、分离器、船舶及配套产品。上述初级和次级产品也与冶金复合产品(如热机械粘结、热辊粘结、爆炸接合等)、焊接覆盖复合产品、机械内衬产品或液压衬产品或CRA内衬产品有关。

[0815] 从上述讨论的可替代的合金组成的数目可以理解,所提出的N' GENIUS™高强度奥氏体和超级奥氏体不锈钢可以被规定并使用在宽范围应用中的各种市场和工业部门中。当利用这些合金时,可以显著减轻重量并节省制造时间,这又导致总建造成本的显著的成本节省。

[0816] 市场、工业部门和应用

[0817] 上游和下游石油和天然气工业(陆上和海上,其中海上包括浅水、深水和超深水技术)

[0818] 制成品的应用可以包括但不限于以下:

[0819] 陆上和海上管道包括:外场管道和出油管道(Interfield Pipelines and Flowlines)、内场管道和出油管道(Infield Pipelines and Flowlines)、弹簧防震器(Buckle Arrestors)、高压高温(HPHT)管线(用于多相流体比如石油、天然气以及含有氯化物、CO₂和H₂S及其他成分的凝析油)、海水注入和地层水注入管线、水下生产系统设备、管汇、跳线、接头(Tie-in)、线轴(Spool)、清管环(Pigging Loops)、管件、石油专用管材(OCTG)及套管、钢悬链线立管、立管、结构飞溅区立管、河流和水道交叉口(Crossing)、阀、泵、分离器、轮船(Vessel)、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和设备。

[0820] 管道包装系统(Piping Package System):比如,加工系统和公用系统、海水冷却系统和消防系统,这些系统能用于所有类型的陆上和海上应用。海上应用包括但不限于固定平台、浮式平台、温泉疗养地和船体(Hull)比如加工平台(Process Platform)、公用平台、井口平台、立管平台、压缩平台(Compression Platform)、浮式储油卸油装置(FPSO'S)、浮式储卸油装置(FSO'S)、温泉疗养地和船体基础设施、构造物、构造物模块和所有相关的

辅助产品和服务。

[0821] 管件包装系统(Tubing Package System):比如,供送管(Umbilical)、冷凝器、热交换器、脱盐、脱硫和所有相关的辅助产品和服务。

[0822] 液化天然气产业(LNG Industries)

[0823] 制成品的应用可以包括但不限于以下:管线和管道包装系统基础设施、构造物、构造物模块、阀、轮船、泵、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和服务,它们用于海上浮式液化天然气(FLNG)船、浮式存储再气化装置(FSRU)或陆上液化天然气(LNG)的工厂、船和轮船以及在低温下加工、存储和运输液化天然气的终端。

[0824] 化工、石化、GTL(天然气制油)和精炼产业

[0825] 制成品的应用可以包括但不限于以下:

[0826] 用于加工和运输来自化工、石化、天然气制油和精炼产业的腐蚀性流体以及酸、碱和其他腐蚀性流体(包括一般在真空塔、常压塔和加氢器中找到的化学品)的:管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和服务,包括铁路和公路的化学品船。

[0827] 环保产业

[0828] 制成品的应用可以包括但不限于以下:

[0829] 用于来自化工和精炼产业、污染控制(例如蒸汽回收系统、CO₂隔离和烟气脱硫)的废弃物品和湿有毒气体的:管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和服务。

[0830] 钢铁产业

[0831] 制成品的应用可以包括但不限于以下:

[0832] 用于钢铁制造和加工的:管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和服务。

[0833] 采矿和矿产行业

[0834] 制成品的应用可以包括但不限于以下:

[0835] 用于采矿和矿物开采和用于腐蚀性浆液及矿上排水运输的:管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和服务。

[0836] 电力产业

[0837] 制成品的应用可以包括但不限于以下:

[0838] 用于发电和用于与发电相关的腐蚀性介质(即化石燃料、燃气、核燃料、地热能、水力发电以及所有其他形式的发电)运输的:管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和服务。

[0839] 纸浆和造纸产业

[0840] 制成品的应用可以包括但不限于以下:

[0841] 用在纸浆和造纸产业和用于漂白设备中腐蚀性流体运输的:管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和服务。

[0842] 海水淡化产业

[0843] 制成品的应用可以包括但不限于以下：

[0844] 用在海水淡化产业和用于海水淡化厂所用海水和盐水的运输的：管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和设备。

[0845] 海事、海军和国防产业

[0846] 制成品的应用可以包括但不限于以下：

[0847] 用于海事、海军和国防产业和用于腐蚀性介质的运输和化学品船、造船和潜艇的公用管道系统的：管线和管道包装系统、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和设备。

[0848] 水和废水产业

[0849] 制成品的应用可以包括但不限于以下：

[0850] 用于水和废水产业(包括用于水井、公用配电网络、污水管网和灌溉系统的套管)中的：管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和设备。

[0851] 建筑、工程和建造产业

[0852] 制成品的应用可以包括但不限于以下：

[0853] 使用在建筑、土木和机械工程以及建造产业中的结构完整和装饰应用中的：管材、管道、基础设施、构造物、锻件和紧固件以及所有相关的辅助产品和设备。

[0854] 食品和酿酒产业

[0855] 制成品的应用可以包括但不限于以下：

[0856] 用在食品和饮料产业以及相关的消费产品中的：管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和设备。

[0857] 医药、生物化学、健康和医疗行业

[0858] 制成品的应用可以包括但不限于以下：

[0859] 用在医药、生物化学、健康和医疗行业，以及相关的消费品产品中的：管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和设备。

[0860] 汽车行业

[0861] 制成品的应用可以包括但不限于以下：

[0862] 用在汽车行业(包括用于公路和铁路的汽车制造、以及地表和地下公共客运系统管理)的：管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件、组件和所有相关的辅助产品和设备。

[0863] 专家研究和行业发展

[0864] 制成品的应用可以包括但不限于以下：

[0865] 用在专家研究和行业发展中的：管线和管道包装系统、基础设施、构造物、构造物模块、阀、泵、轮船、过滤系统、锻件、紧固件和所有相关的辅助产品和设备。

[0866] 本发明涉及奥氏体不锈钢，对于每个规定类型的合金，包括高水平的氮和最低规定的耐点蚀当量。被称为PRE_N的耐点蚀当量根据该公式计算：

[0867] $PRE_N = \%Cr + (3.3 \times \%Mo) + (16 \times \%N)$ ；和/或

[0868] $PRE_{NW} = \%Cr + [3.3 \times \% (Mo+W)] + (16 \times \%N)$, 其中如上所讨论的, 适用于每个规定类型的合金。

[0869] 对于不同实施例或类型的奥氏体不锈钢和/或超级奥氏体不锈钢, 低碳范围的合金被称为304LM4N、316LM4N、317L35M4N、317L57M4N、312L35M4N、312L57M4N、320L35M4N、320L57M4N、326L35M4N、326L57M4N、351L35M4N、351L57M4N、353L35M4N和353L57M4N, 以及已经公开的这些其他变体。在所描述的实施例中, 奥氏体不锈钢和/或超级奥氏体不锈钢包括16.00wt%的铬到30.00wt%的铬; 8.00wt%的镍到27.00wt%的镍; 不超过7.00wt%的钼以及不超过0.70wt%的氮, 但优选的0.40wt%的氮到0.70wt%的氮。对于较低碳范围合金, 这些包括不超过0.030wt%的碳。对于较低锰范围合金, 这些包括不超过2.00wt%的锰, 且锰对氮的比率控制到小于或等于5.0, 且优选地最低1.42且小于或等于5.0, 或更优选地最低1.42并小于或等于3.75。对于较高锰范围合金, 这些包括不超过4.00wt%的锰, 且锰对氮的比率控制到小于或等于10.0, 且优选地最低2.85且小于或等于10.0, 或更优选地最低2.85且小于或等于7.50, 或甚至更优选地最低2.85且小于或等于6.25, 或甚至更优选地最低2.85且小于或等于5.0, 或甚至更进一步更优选地最低2.85且小于或等于3.75。磷的值不超过0.030wt%的磷, 且被控制到尽可能低, 以使它可以小于或等于0.010wt%的磷。硫的值不超过0.010wt%的硫, 且被控制到尽可能低, 以使它可以小于或等于0.001wt%的硫。合金中的氧的水平不超过0.070wt%的氧, 且至关重要的控制到尽可能低, 以使它可以小于或等于0.005wt%的氧。合金中的硅不超过0.75wt%的硅, 除非是需要提高抗氧化能力的特定较高温度应用, 这时, 硅含量可以从0.75wt%的硅到2.00wt%的硅。对于某些应用, 不锈钢和超级奥氏体不锈钢的其他变体已经有目的地调配以制造成包含规定水平的其他合金元素, 比如铜, 对于较低铜范围合金不超过1.50wt%的铜, 对于较高铜范围合金不超过3.50wt%的铜, 钨, 不超过2.00wt%的钨, 以及钒, 不超过0.50wt%的钒。奥氏体不锈钢和超级奥氏体不锈钢, 也主要包含Fe作为剩余部分, 且也可能含有非常少量的其他元素, 比如硼, 不超过0.010wt%的硼; 铈, 不超过0.10wt%的铈; 铝, 不超过0.050wt%的铝; 以及钙和/或镁, 不超过0.010wt%的钙和/或镁。奥氏体不锈钢和超级奥氏体不锈钢已经调配为具有高机械强度性能和优异的延性和韧性的独特组合, 以及良好的可焊性和良好的抗全面腐蚀性和抗局部腐蚀性。不锈钢和超级奥氏体不锈钢的化学分析的特征在于, 其在熔化阶段被优化, 以确保根据Schoefer⁶, [Cr]当量除以[Ni]当量的比率在 >0.40 且 <1.05 范围内, 或优选地 >0.45 且 <0.95 , 以便使基体材料在固溶热处理及随后的水淬火之后主要获得奥氏体微观结构, 该固溶热处理通常在1100摄氏度-1250摄氏度范围内进行。固溶热处理条件下基体材料的微观结构、以及焊接件的焊态焊接金属和热影响区的微观结构通过优化奥氏体形成元素与铁素体形成元素之间的平衡来控制, 以主要确保该合金为奥氏体。合金因此能够被制造并提供为非磁性状态。该新颖的和创新的不锈钢和超级奥氏体不锈钢的最低规定机械强度性能与他们各自的手相比已显著提高, 他们各自的手包括奥氏体不锈钢比如UNS S30403、UNS S30453、UNS S31603、UNS S31703、UNS S31753、UNS S31254、UNS S32053、UNS S32615、UNS S35115和UNS S35315。此外, 最小的规定抗拉强度性能能够优于规定用于22Cr双向不锈钢(UNS S31803)的拉强度性能, 并类似于规定用于25Cr超级双向不锈钢(UNS S32760)的拉强度性能。这意味着, 使用锻造不锈钢的不同应用的系统组件的特征在于, 合金可以常常被设计为具有减少的壁厚, 因此, 当规定不锈钢时, 与传统奥氏体不锈钢比如那些本文详述的不锈钢相比,

由于最小容许设计应力显著更高,将导致显著的重量节省。事实上,锻造奥氏体不锈钢的最小容许设计应力高于22Cr双相不锈钢的最小容许设计应力,且类似于规定用于25Cr超级双相不锈钢的最小容许设计应力。

[0870] 对于某些应用,奥氏体不锈钢和超级奥氏体不锈钢的其他变体已经被专门调配以制造成包含高于上述本文中先前定义的碳的水平。不同类型的奥氏体不锈钢和超级奥氏体不锈钢的合金的较高碳范围,被称为304HM4N、316HM4N、317H35M4N、317H57M4N、312H35M4N、312H57M4N、320H35M4N、320H57M4N、326H35M4N、326H57M4N、351H35M4N、351H57M4N、353H35M4N和353H57M4N,且这些类型的合金包括从0.040wt%碳直到小于0.10wt%碳。然而304M4N、316M4N、31735M4N、31757M4N、31235M4N、31257M4N、32035M4N、32057M4N、32635M4N、32657M4N、35135M4N、35157M4N、35335M4N和35357M4N类型的合金包括从大于0.030wt%碳直到0.080wt%碳。

[0871] 此外,对于某些应用,奥氏体不锈钢和超级奥氏体不锈钢的较高碳范围合金的其他变体是可取的,这些变体已经被专门调配以制造成稳定化版本。这些奥氏体不锈钢和超级奥氏体不锈钢的特定变体为钛稳定化的“HM4NTi”或“M4NTi”类型的合金,其中根据下列公式控制钛含量:分别为 $Ti_4 \times C$ 最小值、0.70wt%Ti最大值,或 $Ti_5 \times C$ 最小值、0.70wt%Ti最大值,以形成合金的钛稳定化衍生物。类似的,存在铌稳定化的“HM4NNb”或“M4NNb”类型的合金,其中根据下列公式控制铌含量:分别为 $Nb_8 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb最大值,或 $Nb_{10} \times C$ 最小值、1.0wt%Nb最大值,以形成合金的铌稳定化衍生物。另外,也可以制造合金的其他变体以包含铌加钽稳定化的“HM4NNbTa”或“M4NNbTa”类型的合金,其中根据下列公式控制铌含量: $Nb+Ta_8 \times C$ 最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值,或 $Nb+Ta_{10} \times C$ 最小值、1.0wt%Nb+Ta最大值、0.10wt%Ta最大值。合金的钛稳定化、铌稳定化和铌加钽稳定化的变体可以在低于初始固溶热处理温度的温度下进行稳定化热处理。钛和/或铌和/或铌加钽可以单独添加,或者连同铜、钨和钒这些元素、以所有各种组合的形式一起添加,以优化合金用于需要更高碳含量的某些应用。这些合金元素可以单独利用,或以这些元素的所有各种组合利用以制造用于特定应用的奥氏体不锈钢,并以进一步优化该合金的整体腐蚀性能。

[0872] 参考文献

[0873] 1.A.J.Sedriks,Stainless Steels'84,Proceedings of Göteborg Conference, Book No320.The Institute of Metals,1Carlton House Terrace,London SW1Y5DB, p.125,1985.

[0874] 2.P.Guha and C.A.Clark,Duplex Stainless Steel Conference Proceedings, ASM Metals/Materials Technology Series,Paper(8201-018)p.355,1982.

[0875] 3.N.Bui,A.Irhzo,F.Dabosi and Y.Limouzin-Maire,Corrosion NACE,Vol.39, p.491,1983.

[0876] 4.A.L.Schaeffler,Metal Progress,Vol.56,p.680,1949.

[0877] 5.C.L.Long and W.T.DeLong,Welding Journal,Vol.52,p.281s,1973.

[0878] 6.E.A.Schoefer,Welding Journal,Vol.53,p.10s,1974.

[0879] 7.ASTM A800/A800M-10