

ZG20Cr25Ni20 奥氏体不锈钢卷筒修复固溶工艺

卷筒作为热轧卷取机上的核心部件,其主要作用是收纳卷取热轧带钢,便于钢带的存储和运输。在服役过程中工况环境恶劣,长期高温氧化与高温腐蚀状态下,要承载交变载荷、交变温度、交变应力,因此要求卷筒具有高强度、刚度,抗高温、抗冲击能力强的特点。卷筒使用材料为 ZG20Cr25Ni20 奥氏体耐热不锈钢,由于其服役条件恶劣,长时间高温导致材料中的合金元素相对比较活跃,极易沿晶界生成碳化物,使组织恶化,合金成分偏析严重,产生沿晶界的裂纹。

目前卷筒失效的方式有尺寸变形、裂纹及磨损等,若不及时进行修复,随着时间的延长,组织继续恶化,导致裂纹扩展延伸,影响设备的使用及安全性,甚至报废、停工停产。图 1 为某公司服役一段时间后的卷筒表面局部照片,可以看出其表面龟裂现象严重。因此需定期对卷筒进行修复,将析出的碳化物重新溶解到奥氏体基体中,减少碳化物含量,均匀合金元素成分,延长卷筒服役期限。



图 1 某公司服役一段时间后的卷筒局部照片

一、卷筒原始性能检测及失效原因分析

从失效的卷筒表层距离法兰面至少 20 mm 处取成分样,采用光谱仪检测其成分,见表 1。

表 1 ZG20Cr25Ni20 奥氏体不锈钢成分

元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
范围/%	≤0.2	≤2	≤1.5	23~27	19~21	≤0.04	≤0.04
质量分数/%	0.14	0.46	0.8	23.6	19.8	0.028	0.0014

从失效的卷筒上,避开表面裂纹,再分别取拉伸试样、冲击试样及硬度块,检测卷筒失效后的力学性能。检测多组数据后的平均数值见表 2。可以看出强度、硬度及塑性均比较差,说明卷筒在服役过程中性能衰减较多。

表 2 卷筒失效后的力学性能

检测温度	拉伸				冲击功 /J	硬度 (HB)
	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	断后伸长 率/%	断面收缩 率/%		
室温	227	175	3.58	4.34	24.4	143
700 °C	241	196	10.50	8.40	-	-

从卷筒中截取 1 个小试块,检测其金相组织,如图 2 所示。从图 2 中可以看出,经长时间过高温服役后,原奥氏体基体中析出大量的碳化物,其中在奥氏体晶界周边有较多碳化物聚集分布。

利用 Jmatpro 软件模拟 ZG20Cr25Ni20 在高温冷却状态下的组织转变,如图 3 所示。从图中可以看出,卷筒在 900~1 100 °C 的环境中服役时,原奥氏体组织中会产生 MN、M₂₃C₆ 相,这些相含量较少时,对材料性能有益,超过一定值时,会显著降低材料的强度及塑性。卷筒在高于 1 040~1 100 °C 条件下工作时,其基体中会逐渐析出大量的 MN、M₂₃C₆ 碳氮化物。随着服役时间延长,碳化物进一步聚集长大,更容易产生粗大、连续的碳化物,甚至会连成网状,严重降低材料的性能。卷筒在服役过程中析出的较大碳化物与奥氏体基体结合较差,受到较大外力时,容易从碳化物聚集的地方撕裂,导致其抗拉强度降低较多,因此修复热处理选

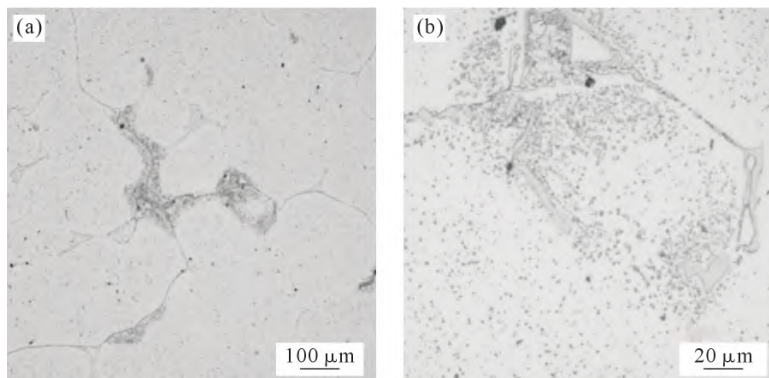


图 2 卷筒服役一段时间后的金相组织:(a) 低倍;(b) 高倍

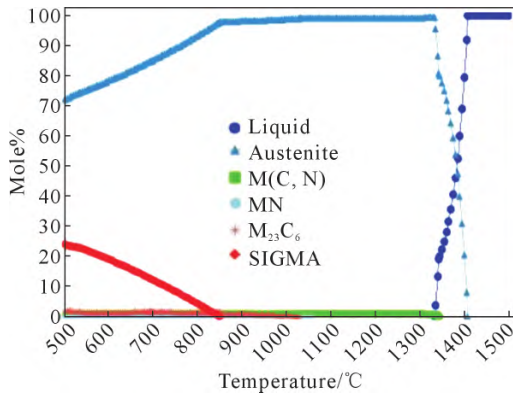


图3 ZG20Cr25Ni20 在高温冷却状态下的组织转变

择固溶工艺。经过固溶处理后,基体中的碳化物分解,合金元素重新溶解到奥氏体基体中,提高了原子间的结合力,使晶格畸变系数增大,形成的溶质原子气团会钉扎位错,增大滑移阻力,延长断裂时间,提高合金的性能和使用寿命。

二、实验方法

为了验证卷筒最佳固溶温度,试验设定温度为 1 100、1 150 及 1 180 °C。保温时间的设定应根据截取试块的厚度计算,一般需要满足在试块热透的情况下,加入碳化物分解及合金元素扩散重新固溶进入奥氏体基体的时间。但是保温时间太长,容易使组织长大较多,晶粒粗化,所以设定的保温时间为 7 h。

利用 Jmatpro 软件模拟 ZG20Cr25Ni20 的 CCT 图谱,见图 4。从图中可以看出,ZG20Cr25Ni20 在高温出炉后的 15 min 内需迅速降温至 600 °C 以下,若降温速度过慢,则组织中会有 $M_{23}C_6$ 生成。结合试块大小及材料对冷却速度的要求,冷却工艺设定为水冷,检测 ZG20Cr25Ni20 试块在激冷效果下的性能。试验选用试块均从某公司服役一段时间失效后的卷筒上截取。

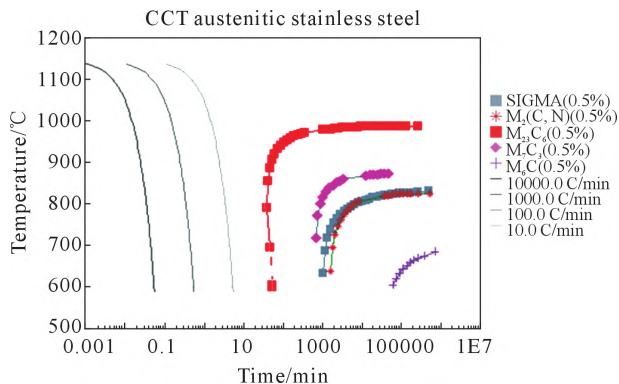


图4 ZG20Cr25Ni20 的 CCT 图谱

三、实验结果与分析

(一)力学性能分析

卷筒切割试块经过不同温度固溶处理后的常温力学性能如表 3 所示。从图中可以看出,服役后的试块经

表 3 ZG20Cr25Ni20 经过不同固溶温度处理后的常温力学性能

	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	断后 伸长率 /%	断面 收缩率 /%	冲击 /J	硬度 (HB)
原始	227	175	3.58	4.34	24.4	143
1 100 °C	326	223	12.3	22.1	35.9	159
1 150 °C	459	201	35.1	44.6	43.1	170
1 180 °C	402	201	29.0	11.0	30.0	160

过固溶处理后,强度、硬度、塑性均有好转。根据检测结果,在 1 150 °C 固溶时的抗拉强度最高,比原试块提升了 102%; 屈服强度在 3 个固溶温度下差别不大,其中 1 100 °C 最优,比固溶之前提升 27.4%; 断后伸长率和断面收缩率在 1 150 °C 固溶处理后改善均比较显著,分别提升 880% 和 928%; 冲击和硬度固溶前后也有所提升,其中 1 150 °C 最优。

检测不同温度固溶处理后的试块在 700 °C 时的拉伸性能如表 4 所示。其中抗拉强度和屈服强度在 1 150 °C 固溶时的性能最佳; 断后伸长率、断面收缩率在 1 100 °C 固溶时的数据最高。

表 4 ZG20Cr25Ni20 经过不同固溶温度处理后的 700 °C 高温拉伸性能

	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	断后 伸长率 /%	断面 收缩率 /%
原始	241	196	10.5	8.4
1 100 °C	262	177	34.9	57.8
1 150 °C	299	234	32.3	56.4
1 180 °C	275	228	33.5	48.8

(二)金相组织分析

从卷筒上截取 3 个试块,分别在 1 100、1 150 及 1 180 °C 下保温 7 h,水冷至室温,然后分别检测其金相组织,如图 5 所示。图 5a 是试块在 1 100 °C 下固溶处理后的组织形貌,可以看出金相组织依旧为奥氏体+少量的铁素体+碳化物,与未固溶处理的组织(图 2)相比,晶界周围团聚的碳化物基本能重新固溶到奥氏体基体中,非晶界周边的碳化物能部分固溶到基体中,但仍有大量未固溶到基体中。图 5b 是试块在 1 150 °C 下固溶处理后的组织形貌,与图 5a 相比,晶粒大小变化不大,基体中未固溶的碳化物显著减少,有少部分分布在奥氏体基体中。图 5c 为试块在 1 180 °C 下固溶处理后的组织形貌。与前两者相比,随着温度升高,奥氏体基体的晶粒尺寸显著长大,奥氏体基体中的碳化物溶解较多。

由图 5 可以看出,高温生成的 δ 铁素体因熔点较高,在本次试验的固溶温度区间基本变化不大; 靠近晶界的碳化物随着温度升高溶解越多,晶粒尺寸逐步长大。这是因为固溶温度升高使原子的激活能增大,原子扩散速率加快,大量的碳化物溶解使晶界迁移阻碍减小,晶界迁移速度加快。随着固溶保温温度的升高,固

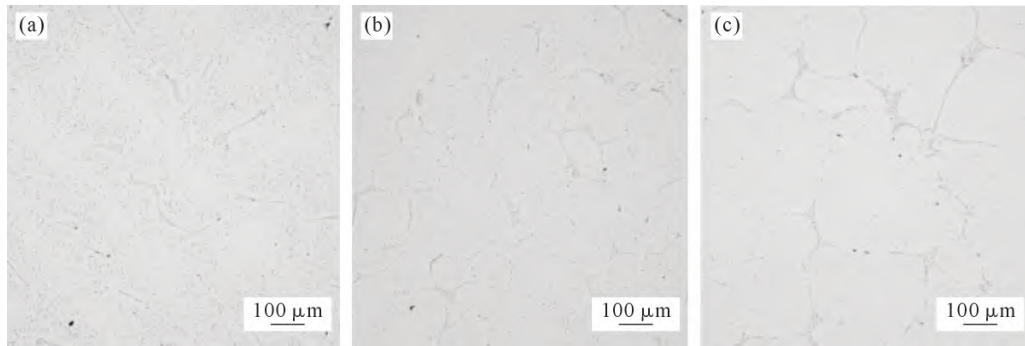


图5 经过不同温度固溶处理后的金相组织:(a) 1 100 °C;(b) 1 150 °C;(c) 1 180 °C

溶强化效果显著。在 1 150 °C 下固溶优于 1 100 °C 固溶时的力学性能,但是当固溶保温温度升高至 1 180 °C 时,晶粒尺寸长大,晶界减少,位错滑移阻力较小,故其大部分力学性能低于 1 150 °C 固溶时的力学性能。

四、结语

ZG20Cr25Ni20 奥氏体不锈钢卷筒在高温服役一段时间后,原奥氏体基体中析出大量的碳化物,在奥氏体晶界周边有较多碳化物聚集分布,导致其拉伸性能和冲击韧性大幅降低。经过 1 100、1 150 及 1 180 °C 固

溶处理后,碳化物随固溶温度的升高,溶解越来越多;晶粒尺寸在 1 180 °C 下长大显著。其中,抗拉强度在 1 150 °C 固溶时提升了 102%,屈服强度在 1 100 °C 固溶时提升了 27.4%,断后伸长率和断面收缩率在 1 150 °C 固溶处理后分别提升了 880% 和 928%。综合评估,卷筒修复后的最佳固溶工艺为 1 150 °C×7 h 水淬处理。

陈婷婷,马进,纳学洋
(共享铸钢有限公司,宁夏银川 750021)