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	0.001 4

从失效的卷筒上，避开表面裂纹，再分别取拉伸试棒、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、硬度及塑韧性均比较差，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 ℃	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 ℃的环境中服役时，原奥氏体组织中会产生 MN、$M_{23}C_6$ 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韧性。卷筒在高于 1 040~1 100 ℃条件下工作时，其基体中会逐渐析出大量的 MN、$M_{23}C_6$ 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

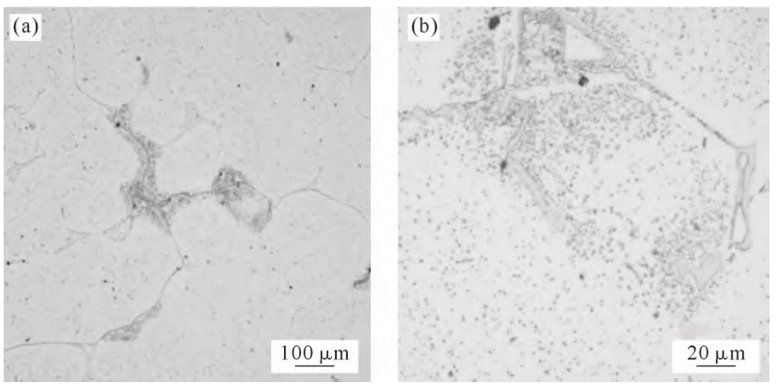

图 2 卷筒服役一段时间后的金相组织：(a) 低倍；(b) 高倍

中国知网 https://www.cnki.net

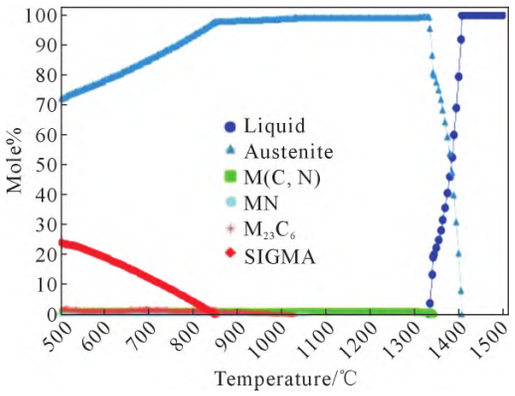

图 3 ZG20Cr25Ni20 在高温冷却状态下的组织转变

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 ℃。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 ℃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。

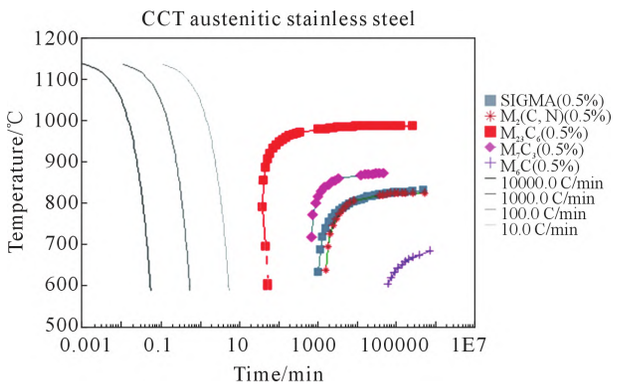

图 4 ZG20Cr25Ni20 的 CCT 图谱

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，服役后的试块经过固溶处理后，强度、硬度、塑韧性均有好转。根据检测结果，在 1 150 ℃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 ℃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 ℃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 ℃最优。

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 ℃	326	223	12.3	22.1	35.9	159
1 150 ℃	459	201	35.1	44.6	43.1	170
1 180 ℃	402	201	29.0	11.0	30.0	160

检测不同温度固溶处理后的试块在 700 ℃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 ℃固溶时的性能最佳；断后伸长率、断面收缩率在 1 100 ℃固溶时的数据最高。

表 4 ZG20Cr25Ni20 经过不同固溶温度处理后的 700 ℃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 ℃	262	177	34.9	57.8
1 150 ℃	299	234	32.3	56.4
1 180 ℃	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 ℃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 1100℃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 ℃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 ℃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

中国知网 https://www.cnki.net

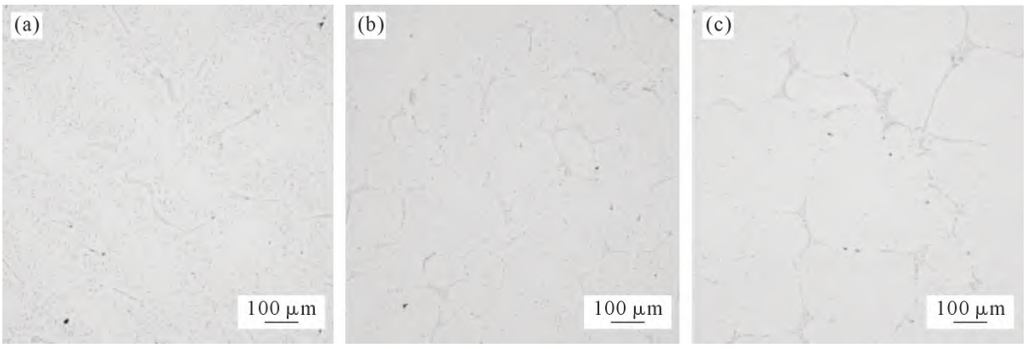

图 5 经过不同温度固溶处理后的金相组织:(a) 1 100 ℃;(b) 1 150 ℃;(c) 1 180 ℃

溶强化效果显著。在 1 150 ℃下固溶优于 1 100 ℃固溶时的力学性能，但是当固溶保温温度升高至 1 180 ℃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 ℃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 ℃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 ℃下长大显著。其中,抗拉强度在 1 150 ℃固溶时提升了 102%,屈服强度在 1 100 ℃固溶时提升了 27.4%，断后伸长率和断面收缩率在 1 150 ℃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 ℃×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)

中国知网　https://www.cnki.net