

⑥ 18-22

转炉——连铸锚链钢质量控制

李永祥

(重钢股份公司钢研所)

TF762
TF777

摘要 重钢七厂在生产设备良好的条件下, 采用合理的转炉冶炼——连铸工艺控制, 能生产出质量优良的锚链钢坯, 其轧材性能指标完全能满足有关标准要求。

关键词 转炉 连铸 质量控制

锚链钢

转炉连铸

1 前言

AM2、AM3 是一种船用锚链钢, 国外造船业在 70 年代已经广泛采用三级电焊锚链材料。我国在 80 年代初开始发展三级电焊锚链钢, 最初我国锚链钢的冶炼多在电炉或平炉上进行, 近年来少数炼钢厂在氧气顶吹转炉上进行了锚链钢的冶炼试验, 采用转炉—模铸工艺生产锚链钢。而采用转炉—连铸工艺生产锚链钢还未见报道, 重钢七厂于 1995 年 10 月开始进行转炉—连铸锚链钢试验。先对 AM2 钢进行试验, 待其试验成功后又对 AM3 钢进行了试验, 其轧材性能完全能满足 YB(T) 66-87 和各船规要求。并于 1997 年 9 月和 1998 年 5 月先后通过了 'CCS' 船级社和英国 "LR" 船级社产品认证。通过对锚链钢的试验, 获得了一些转炉—连铸锚链钢质量控制的经验。

2 锚链钢生产工艺流程、设备和工艺参数简介

2.1 锚链钢生产工艺流程

高炉→混铁炉→2×50t 氧气顶吹转炉→顶、底吹氩→方坯连铸机→铸坯切割→堆码冷却→精整→开坯 60²、100² 或轧成 ≤φ100mm 圆钢。

2.2 设备及工艺参数简介

2.2.1 转炉公称容量 50t, 出钢量 > 78 ± 2t。

2.2.2 钢包容量 90t。

2.2.3 转炉冶炼采用高拉补吹法, 终点 C 控制: AM2, C 终 ≥ 0.08%; AM3, C 终 ≥ 0.10%; 出钢温度: AM2 1680 ~ 1700℃; AM3 1675 ~ 1695℃。

2.2.4 采用钢包底吹 Ar 方式, 吹 Ar 时间 3 ~ 8min。

2.2.5 铸坯断面: 200 × 250mm², 250 × 250mm²。

2.2.6 连铸机机型: 四机四流全弧形两点矫直, R0 10300mm, R1 18000mm。

2.2.7 组合式结晶器, 其长度 840mm, 结晶器冷却水量: 200 × 250mm² 断面 120t/h. 流; 250 × 250mm² 断面 135t/h. 流。

2.2.8 二冷区共分为五区, 比水量 0.54 ~ 0.57L/kg。

2.2.9 中间包液面正常高度 500mm, 容钢量 15t; 最高液面高度 570mm, 容钢量 17.5t。

2.2.10 中间包钢液目标温度: AM2 1520 ~ 1535℃; AM3 1515 ~ 1530℃。

2.2.11 拉速: 200 × 250mm² 断面; AM2 0.8 ~ 1.2m/min, AM3 0.7 ~ 1.1m/min; 250 × 250mm² 断面; AM2 0.7 ~ 1.1m/min; AM3 0.6 ~ 1.0m/min。拉速按注温注速标准控制。

3 连铸坯质量状况

重钢转炉—连铸锚链钢试制成功, 经历了试验—质量提高—质量巩固三个阶段。

3.1 试验阶段

在试验阶段，生产铸坯 2036t；经做低倍、硫印检验，铸坯存在较为严重的缩孔、内裂、夹杂和气孔等缺陷（见图 1）。低倍评级，缺陷主要级别为：缩孔 1.5~2.5 级，内裂 1.0~2.0 级，夹杂 1.0~2.0 级，气孔 1.0~1.5 级，其中主要为缩孔、内裂、夹杂，特别是内裂较为严重。多数铸坯只有一至两种缺陷存在，少数铸坯不同程度地伴有缩孔、内裂、夹杂、气孔等缺陷。

铸坯表面原始合格率虽可达 90%以上，但在常温下精整 AM3 钢，经火焰清理后，其铸坯表面出现炸裂现象，形成表面裂纹。铸坯轧成小于 $\phi 100\text{mm}$ 圆钢或小于 $100 \times 100\text{mm}^2$ 方坯后，轧材表面存在大量长条纵裂或纵向细小发纹，方坯角部伴有细小横裂，这些裂纹深度大都不大于 1mm，但修磨困难，给锚链钢的进一步加工带来诸多不便，且直接影响锚链钢成品质量。

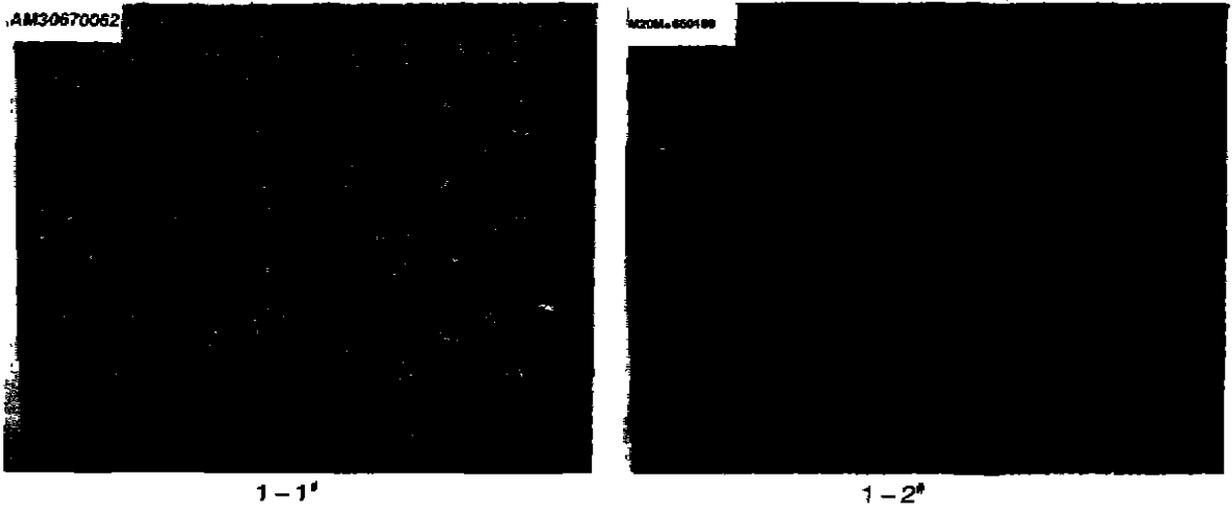


图 1 试验阶段锚链钢低倍照片（1-1'、1-2'）

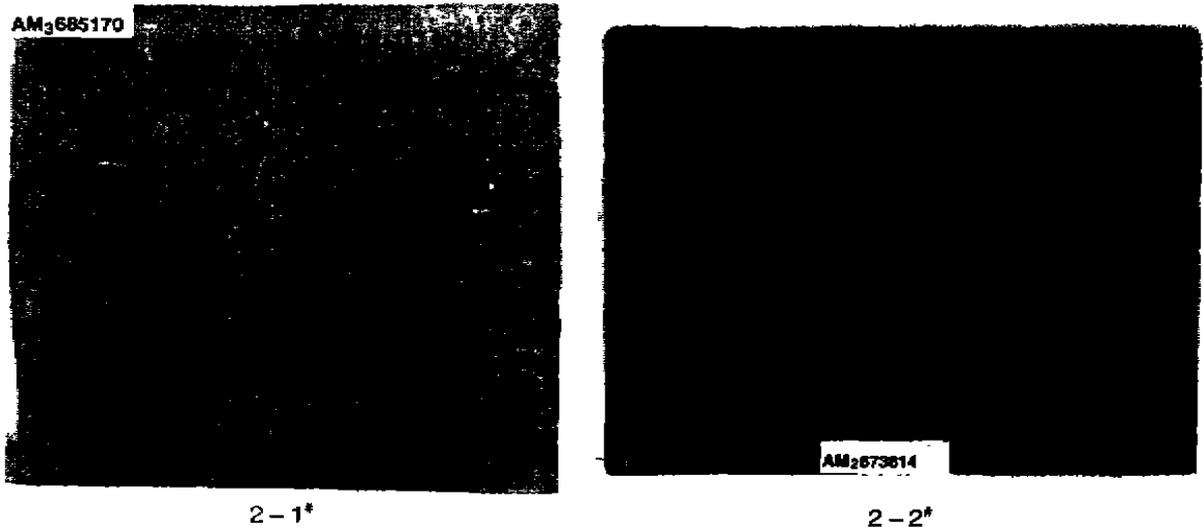


图 2 质量提高阶段锚链钢低倍照片（2-1'、2-2'）

3.2 提高阶段

针对试验存在的质量问题，从冶炼、

连铸工艺改进和完善，保持设备完好，加强管理等方面入手，以求达到锚链钢铸坯

质量改善和提高。质量提高阶段共生产铸坯 1964t。经对铸坯作低倍、硫印检验, 铸坯内部缺陷量少、级别低, 其缩孔和中心裂纹基本消除, 少数铸坯仅存在 ≤ 0.5 级的中心疏松, 中间裂纹 < 1.0 级, 皮下裂纹 < 0.5 级, 仅个别铸坯有 < 0.5 级的夹杂存在, 铸坯上无气孔 (见图 2)。轧成锚链圆钢后, 经对圆钢表面进行检查, 表面裂纹有较大幅度减少, 仅有 5% 左右圆钢存在表面裂纹。

从表 1 可知, 钢中夹杂物含量显著降

低, 与试验阶段相比, 铸坯夹杂总量下降了 50.53%, 其中 Al_2O_3 含量也有所下降, 说明钢液被二次氧化的程度减轻, 此夹杂总量指标也低于七厂 1# 方坯铸机所生产的其它钢种的夹杂总量指标。对所轧成的锚链圆钢进行夹杂评级, 硫化物为 1.0~2.5 级, 氧化物夹杂 1.5~2.5 级, 未发现明显的硅酸盐夹杂, 脆性夹杂物、塑性夹杂物各不大于 3 级, 两者之和 ≤ 5.5 级, 各类夹杂级别均属合格范围。

表 1 试验和质量提高阶段夹杂含量变化

项目		名称	总量 %	分量 Al_2O_3 %	分量 SiO_2 %
试验阶段	n		15	15	15
	$\frac{X_{min} - X_{max}}{X}$		0.0076 - 0.0150	53.70 - 82.90	6.95 - 20.18
			0.0095	71.70	12.29
质量提高阶段	n		20	20	20
	$\frac{X_{min} - X_{max}}{X}$		0.0034 - 0.0058	46.78 - 80.60	14.99 - 45.55
			0.0047	63.73	27.12
两阶段比较 (%)			-50.53	-11.12	+120.67

表 2 试验和质量提高阶段气体含量变化

项目		名称	[N]PPm	[H]PPm	[O]PPm
试验阶段	n		9	10	10
	$\frac{X_{min} - X_{max}}{X}$		49 - 62	2.51 - 5.13	39 - 89
			53	4.12	52
质量提高阶段	n		12	11	12
	$\frac{X_{min} - X_{max}}{X}$		35 - 64	2.72 - 5.56	21 - 74
			49	3.68	42
两阶段比较 (%)			-1.89	-10.68	-20.75

从表 2 可知: 质量提高阶段, 钢中[N]、[H]、[O]气体均有不同程度下降, 特别是钢中[O]下降最多达 20.75%。

3.3 巩固阶段

在此阶段, 仍采取在质量提高阶段所确定的合理工艺技术及设备保证手段, 其铸坯质量基本保持在质量提高阶段的水平。偶尔出现的铸坯质量问题, 是由于连铸机设备不正常或浇铸异常造成, 与工艺技术关系不大。

4 缺陷产生原因分析及预防措施

4.1 内裂及其预防措施

钢水凝固成坯壳后在铸机内运行时由于受到了拉应力、组织应力、弯曲 (或矫直) 应力、意外机械力、鼓肚力的作用。当某一部分坯壳受到的综合应力超过了 AM2、AM3 钢高温热塑性变形能力时将产生开裂。AM2、AM3 钢是裂纹敏感性极强的钢, 高温热塑性变形能力较差, 如坯壳遇到稍大的应力或意外机械力、鼓肚力的作用, 而导致综合应力超过它的高温热塑性变形能力, 就极易产生内裂。而生产中 AM2、AM3 钢内裂主要为中间裂纹, 其次为不规则的中心裂纹。经验表明, 采用均

均匀冷或适当延长二冷喷水长度、降低钢水过热度都有利于抑制内裂的产生; 而保持铸机设备状态良好, 对防止内裂产生也极为重要。

锚链钢铸坯内裂的存在, 靠热加工是不能消除的, 会在锚链钢的最终产品中留下缺陷, 从而影响最终产品的物理机械性能。对此, 重钢在生产中采取了以下措施对锚链钢内裂加以防止。

4.1.1 由于 AM3、AM2 钢的液相线温度各为 1499℃ 和 1511℃, 对此, 将其浇注目标温度: AM3 由 1520~1535℃ 降为 1515~1530℃; AM2 由 1525~1540℃ 降为 1520~1535℃。同时降低拉速: 200×250mm²; AM3 1525℃/0.9m/min 降为 1525℃/0.8m/min; 250×250mm² 降为 1525℃/0.7m/min, AM2 降为 1525℃/0.8m/min。将二冷比水量调低至 0.54~0.57/kg, 调整二冷区各段水量, 使铸坯保持均匀弱冷却。这些措施的实施既保证了浇注顺行, 又避免了高温时铸坯产生裂纹的趋向。过热度的降低, 提高了铸坯等轴晶率; 降低拉速, 从而增加了坯壳厚度, 缩短了液芯长度, 对降低内裂都起着至关重要的作用。

4.1.2 保持结晶器液面平稳, 不能频繁变动拉速。

4.1.3 控制好终点 P、S 含量, 把成品 P、S 控制在 0.020% 范围内, 可以降低钢的裂纹敏感性。

4.1.4 铸机倒锥度、足辊开口度、铸机弧形不良、二冷喷嘴堵塞严重等, 必将造成铸坯内裂的存在。因此, 生产锚链钢之前必须对铸机进行全面检修, 以保持连铸设备处于良好状态。

4.2 表面裂纹及其预防措施

对于 AM3, 由于其 C 含量较高裂纹敏感性极强, 高温热塑性变形能力差, 虽然铸坯原始表面不存在裂纹, 但经常温火焰清理后将产生表面裂纹, 轧制后, 进一步

扩展为表面纵裂。对此, 采取了以下措施加以防止。

带温火焰清理 AM3 钢, 要求清理温度 $\geq 180^\circ\text{C}$, 经过试验测试, 只要在 24 小时内清理完毕, 均能保证清理温度 $\geq 180^\circ\text{C}$, 且清理后铸坯表面不发生炸裂现象。

4.3 缩孔及其预防措施

铸坯在凝固过程中, 坯壳若受到强烈冷却或注温过高, 极易导致柱状晶发达, 当二冷区部份区域水量过大且遇拉速频繁变化时, 部份区段发生穿晶和柱状晶搭桥现象, 导致铸坯凝固时出现小钢锭结构, 凝固末期无钢水补缩而形成缩孔。而缩孔的形成与钢水温度和二冷水量成正相关关系。从锚链钢铸坯低倍见到, 发生缩孔的大部份铸坯其中心等轴晶区面积较小, 而柱状晶较发达, 并有穿晶现象。从理论上讲, 这与铸温过高、二冷水过大有密切关系。对此, 采取了以下措施防止缩孔的产生。

由于七厂 1# 方坯铸机在二冷段采用五区供水, 在比水量等条件不变时, 曾采取尽量加大一、二区供水量、减少三至五区供水量的方法进行供水, 以求降低铸坯后期凝固速度, 达到减轻缩孔的目的, 采用此法, 缩孔虽得到了抑制, 但由于铸坯回温大, 铸坯中间裂纹较严重。对此, 在铸机设备良好的条件下, 对浇注工艺参数进行改进, 采取降低钢水过热度, 降低二冷比水量: 由 0.62~0.65L/kg 降为 0.54~0.57L/kg, 同时调整各区水量分布, 一、二区供水量适当降低, 三、四、五区供水量适当增加。这些措施实施后, 缩孔基本消除, 中间裂纹也得到控制, 少数铸坯仅存在 ≤ 0.5 级的中心疏松。

4.4 钢中夹杂物及其预防措施

铸坯内夹杂物, 主要来源于脱氧产物、转炉和中间包渣子的混入、钢包和中间包耐火材料的熔损、空气氧化产物、结

晶器渣子卷入等, 其中尤以钢水二次氧化产物为主。

钢中存在着非金属夹杂物破坏了钢组织的均匀性、连续性, 降低了钢性能的可塑性、冲击韧性和强度极限, 在使用过程中尚有非金属夹杂物的地方极易产生应力集中。而锚链钢内的夹杂物在加热轧制、锚链成型加工过程中, 由于受交变应力的作用, 又往往扩展成较为严重的裂纹。

通过对轧制成的锚链圆钢上有裂纹的试样作金相检查, 发现裂缝内有严重夹杂物, 裂缝处均有严重的氧化和脱碳现象, 这说明锚链圆钢上裂纹产生的根源之一为夹杂物所致。而非金属夹杂物的来源较为复杂, 但可以从炼钢、吹氩、连铸及保护浇注、耐火材料的选用等方面加以控制, 以尽量减少钢中夹杂物。

4.4.1 提高转炉冶炼终点 C, 将 AM2 终点 C 由 0.06% 提高至 0.08%; AM3 终点 C 由 0.08% 提高至 0.10%。终点 C 的提高可减少钢中过剩氧的含量, 从而可减少钢中脱氧产物。

4.4.2 改进脱氧工艺, 采用 SiAlBa 合金进行预脱氧, 同时采用钢水净化剂以吸收钢包内钢水夹杂, 并使夹杂物变性。

4.4.3 抓好转炉挡渣出钢, 提高挡渣有效率, 减少进入钢包中的钢渣。

4.4.4 红包出钢, 在保证吹 Ar、连铸各工序控制符合有关工艺规程条件下, 尽可能降低锚链钢出钢温度, 经过多炉试验后, 将锚链钢出钢温度下降了约 20℃。现执行出钢温度: AM2 1680~1700℃; AM3 1675~1695℃。由此可减少高温钢水对浇注耐火材料的熔损和侵蚀。

4.4.5 钢包钢水改顶吹氩为底吹氩, 吹 Ar 时间严格控制在 3~8min 内, 不得爆吹或假吹, 吹 Ar 后要求钢水镇静 5~8min, 以利于钢中夹杂物进一步上浮。

4.4.6 改进中间包材质, 采用镁质中间

包。大包采用长水口、中间包采用浸入式水口并同时加固体密封环进行保护浇注, 由此, 可防止钢液二次氧化, 减少钢中夹杂。

4.5 钢中气孔及其预防措施

铸坯若存在表面气孔或皮下气孔, 在运往轧钢厂进入加热炉内, 气孔内表面将被氧化而形成脱 C 层, 轧制后若不能焊合将形成缺陷, 最突出的表现形式为轧材表面细小裂纹。经过 $\phi 100\text{mm}$ 锚链圆钢有裂纹缺陷的部位取样做金相检验, 发现裂纹处均有严重的氧化和脱碳现象, 这也与钢中存在气孔有关。气孔的形成与钢水的含碳量、脱氧程度、钢液过热度及浇铸工艺等都有密切关系。一般说来, 气孔的形成是钢液在凝固过程中, 由于钢中气体发生压力大于钢液静压力与大气压力之和而又来不及逸出, 残留了钢中造成的。降低钢中主要气体如氢和氧的含量, 就可减少钢中气孔的产生, 对此, 除采取前面所述: 提高冶炼终点 C、改进脱氧工艺、红包出钢、降低出钢温度、改进吹 Ar 方式、加强吹 Ar 操作、大中包注流保护浇注等可降低钢中气体外, 还采取了以下措施。

4.5.1 烟罩系统向炉子内严重漏水不生产此钢。

4.5.2 入炉原材料必须保持清洁干燥。

4.5.3 保护渣水份 $\leq 0.5\%$ 。

4.4.4 中间包烘烤温度 $> 1000^\circ\text{C}$ 。

5 结语

5.1 在铸机良好条件下, 保持低过热度; AM2 15~25℃, AM3 15~30℃, 二冷区弱冷比水量 0.54~0.57L/kg, 低拉速能保证浇注顺行, 铸坯内裂较少, 质量良好。

5.2 AM3 钢实行带温火焰清理 (清理温度 $\geq 180^\circ\text{C}$), 可防止清理后铸坯表面出现炸裂现象。

5.3 降低钢中气体、夹杂物含量可减轻铸坯轧成锚链圆钢表面裂纹的产生。