

精密铸造 M35-1 镍铜合金力学性能提高措施

林再生 孙延明
[泰钢合金(中山)有限公司]

摘 要 研究了 M35-1 镍铜合金熔炼过程中增碳剂、硅铁、锰铁的烧损率,在 ASTM 标准范围内收窄 C、Si、Mn 成分范围,可以很大程度上提高 M35-1 镍铜合金的力学性能,提高铸件合格率。同时提高了熔炼合金的品质,避免因夹渣缺陷而导致 M35-1 镍铜合金力学性能不达标。

关键词 M35-1 镍铜合金;力学性能;增碳剂;烧损率;过滤网

中图分类号 TG295 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.01.027

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Method to Improving Mechanical Properties of M35-1 Nickel Copper Alloy by Investment Casting

Lin Zaisheng, Sun Yanming
[Tycon Alloy Industries (ZhongShan) Co., Ltd.]

Abstract: The mechanical properties and qualified rate of M35-1 nickel copper alloy were greatly improved by understanding the burning loss rate of carburant, ferrosilicon and ferromanganese in the melting process of M35-1 nickel copper alloy as well as narrowing the composition range of C, Si and Mn with in ASTM standard. Meanwhile, the quality of liquid alloy during melting and pouring was improved, avoiding internal defects of M35-1 nickel copper alloy caused by slag inclusion defect, which ensures the stability of mechanical properties.

Key Words: M35-1 Nickel Copper Alloy, Mechanical Properties, Carburant, Burning Loss Rate, Filter

M35-1 镍铜合金属于 Monel 合金,由于合金含 Cu,故在非氧化性气氛下比纯 Ni 更耐蚀,在氧化气氛下比纯 Cu 更耐蚀。M35-1 镍铜合金在化染、化工、船舶等领域中应用十分广泛^[1]。M35-1 镍铜合金比普通 316 奥氏体不锈钢生产难度大,根据多年生产经验,对提高 M35-1 镍铜合金的力学性能进行探讨分析,为其应用提供参考。

1 M35-1 镍铜合金的技术要求

1.1 M35-1 镍铜合金的化学成分

M35-1 镍铜合金是以 Ni 和 Cu 为主要元素的多元合金,其化学成分见表 1。要求其抗拉强度、屈服强度不低于 450、170 MPa,伸长率不低于 25%。

表 1 M35-1 镍铜合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of M35-1 nickel copper alloy %								
w_B								
Cu	C	Si	Mn	P	S	Fe	Nb	Ni
26.0~33.0	≤0.35	≤1.25	≤1.50	≤0.03	≤0.02	≤3.50	≤0.50	余量

1.2 配料方案及熔炼步骤

采用 150 kg 中频感应熔炼炉,每炉加 100 kg 电解镍板、44 kg 电解铜板及脱氧合金硅铁、锰铁。熔炼步骤:首先热炉,将镍板加入炉底,升温;在达到 1 500 ℃时加入铜板,继续熔炼升温;在炉温达到 1 650 ℃时保温 2 min 后降温至 1 620 ℃,然后加入锰铁、硅铁合金初脱氧;在 5 min 后取样进行化学成分分析;成分合格后,降温至 1 500 ℃,加入 0.2% 的钙硅锰终脱氧,降温至 1 470 ℃时浇注。

1.3 力学性能测试

M35-1 镍铜合金按以上配料及熔炼步骤共浇注 4 炉,其力学性能测试结果见表 2。可以看出,4 炉合金

表 2 M35-1 镍铜合金力学性能测试结果

Tab.2 Testing results of mechanical properties of M35-1 Ni-Cu alloy				
炉次	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	测试结果
1	339	131	39	不合格
2	329	123	37	不合格
3	341	132	29	不合格
4	290	130	25	不合格

收稿日期:2020-09-15;修改稿收到日期:2020-10-23

第一作者简介:林再生,男,1986 年出生,工程师,广东中山(528400),E-mail:linzaisheng@tyconalloy.com

引用格式:林再生,孙延明. 精密铸造 M35-1 镍铜合金力学性能提高措施[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(1):130-132.

LIN Z S, SUN Y M. Method to improving mechanical properties qualified rate of M35-1 nickel copper alloy by investment casting[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(1):130-132.

伸长率合格,但抗拉强度及屈服强度都不合格,因此,需进行成分调整。

2 M35-1 镍铜合金元素含量调控

2.1 C、Si、Mn 元素对力学性能的影响

M35-1 镍铜合金中 C 原子以固溶强化的作用提高合金强度,同时 C 还会形成碳化物,通过第二相强化进一步提高基体的性能。C 含量增加,硬度升高,屈服强度和抗拉强度升高,但塑性和冲击韧度降低,焊接性能变差,C 含量高还会降低合金的耐大气腐蚀能力。Si 一般作为脱氧剂使用,可以增加合金流动性,显著提高合金的弹性模量、屈服强度、抗拉强度、屈强比,但过量的 Si 会使合金的焊接性能恶化。Mn 可以提高抗拉及屈服强度,其中提高屈服强度较明显,但是,Mn 含量过高会使合金的脆性增加,焊接性能降低,耐锈蚀性能降低。

基于 M35-1 镍铜合金的成分特性,可以采用增碳剂、硅铁合金、锰铁合金,适当增加 C、Si、Mn 元素含量,提高其力学性能。

2.2 生产验证过程

第 2 轮试验,熔炼合金工艺与第 1 轮试验基本一致,不同之处在于:热炉后首先将增碳剂加入炉底,再加入镍板。

第 5 炉的化学成分见表 3。从实际成分推算实际烧损率,增碳剂烧损率达到 60%,硅铁烧损率为-5%,锰铁烧损率为 0。实际烧损率与理论烧损率差异较大。这是因为增碳剂直接加入炉底,部分增碳剂渗入炉底微裂纹中,使实际熔入合金中的增碳剂总量显著减少;硅铁、锰铁合金加入量相对较多,若合金加入后没有足够时间使其充分熔化,其烧损率即会出现负值。第 5 炉试棒力学性能测试,抗拉强度仍然不合格。

表 3 第 5 炉的化学成分与烧损率

Tab.3 Chemical composition and burning loss rate of the NO.5 furnace %				
		ω_B		
		C	Si	Mn
标准值		≤ 0.350	≤ 1.25	≤ 1.50
合金加入比例		增碳剂 0.17	硅铁 2.0	锰铁 2.5
理论值	烧损率	0	20	20
	配料成分	0.204	1.211	1.301
实际值	烧损率	67	-5	0
	实际成分	0.097	1.579	1.633

第 3 轮试验,熔炼合金工艺:热炉,先将 10~20 kg 镍板均匀铺在炉底,将增碳剂撒在镍板上,再将剩余的镍板覆盖在增碳剂上方,开始熔炼;在炉温达到 1 500 ℃时加入铜板,继续熔炼升温;合金温度升到 1 600 ℃时加入锰铁、硅铁合金,炉温到达 1 650 ℃时保温 2

min;降温 5 min 后取样分析;成分合格后,降温至 1 500 ℃,加入 0.2% 的钙硅锰终脱氧;合金温度降至 1 470 ℃,保温、浇注。

熔炼方案调整后熔炼 4 炉次,合金烧损率也比较稳定,结果见表 4。

表 4 实际烧损率及成分

Tab.4 Actual burning loss rate and chemical composition %				
炉次	化学元素	ω_B		
		C	Si	Mn
6	实际烧损率	2	10	-8
	实际成分	0.296	0.950	1.468
7	实际烧损率	7	9	-1
	实际成分	0.278	0.961	1.316
8	实际烧损率	-9	15	15
	实际成分	0.306	0.972	1.090
9	实际烧损率	8	4	3
	实际成分	0.213	1.093	1.120

第 3 轮试验的第 6~9 炉,力学性能测试全部合格,见表 5。

表 5 6~9 炉次的力学性能结果

Tab.5 Results of mechanical properties of the NO.6~NO.9 furnace				
炉次	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	力学性能测试结果
	≥ 450	≥ 170	≥ 25	
6	496	205	41	合格
7	494	232	36	
8	515	202	37	
9	473	197	44	

2.3 合金内控成分范围及合金烧损率设置

后续经过多次生产验证,进行化学成分调控,见表 6,M35-1 镍铜合金力学性能合格率达到 100%,说明 C、Si、Mn 含量控制合理,铸件就能达标。

表 6 合金内控成分范围

Tab.6 Range of internal control composition %			
	ω_B		
	C	Si	Mn
标准范围	≤ 0.350	≤ 1.25	≤ 1.50
内控范围	0.18~0.25	0.70~1.25	0.80~1.50
理论配料值	0.21	1.00	1.10

C、Si、Mn 合金烧损率受合金批次的不同、合金加入时炉内液态合金的温度、熔炼时间长短等诸多因素影响。经过多次验证,C、Si、Mn 烧损率分别按-5%、7%、2%配料,化学成分即能达标。C 烧损率为负值,是假定 M35-1 镍铜合金熔炼过程会增碳 5%,这是因为炉壁中可能残留上炉合金或钢水中的 C,尤其是熔炼过高碳材质的炉衬;即使不发生增 C 确实有了烧损,C 设置为负值也能防止 C 成分超出内控范围的上限值。

3 控制合金熔体品质

3.1 过滤网对铸件品质的影响

M35-1 镍铜合金中的 Ni 和 Cu 在大气高温条件

下,极易氧化、吸气。合金凝固时,会形成大量的气孔或在晶界上生成大量的夹杂物,导致合金的性能严重下降^[2]。相比 316 不锈钢,M35-1 镍铜合金更容易产生氧化渣,一定程度上降低了液态合金品质。过滤网能有效滤除熔渣及其他非金属夹杂物^[3]。图 1 为使用了过滤网后生产的铸件,过滤网左端的直浇道及横浇道上聚集着许多黑色的渣点,而右端的铸件表面品质良好,过滤网起到了净化液态合金的作用。

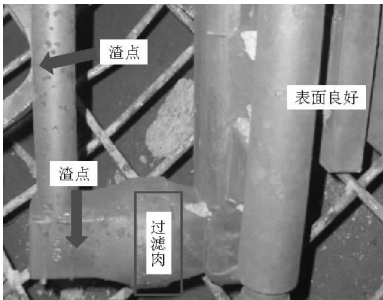


图 1 过滤网挡渣效果

Fig.1 Slag blocking effectiveness of filter

3.2 试棒质量对力学性能的影响

图 2 为加工后渗透的拉伸试棒。可以看出,未加过滤网时,渗透后铸件表面出现小渣点缺陷,加了过滤网后,渗透后未发现缺陷。

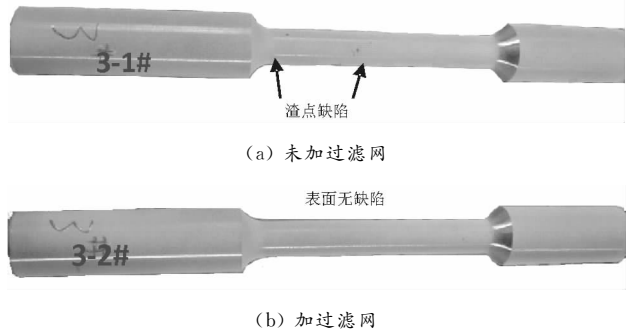


图 2 加过滤网前后加工后渗透的拉伸试棒

Fig.2 Processed penetrative tensile test rod before and after filter

表 7 为试样的力学性能。可以看出,使用过滤网可以提高合金的力学性能。此外,除了工艺上使用过滤网,熔炼浇注过程需注意提升液态合金品质,如使用无杂质的合金、避免熔炼时间过长、脱氧后静置等。

表 7 试样力学性能

Tab.7 Mechanical properties of the specimens before and after filter

编号	过滤网	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%
1	否	450	189	39
2	是	486	199	46

4 结 语

M35-1 镍铜合金铸造性能与 316 不锈钢有很大区别,用于增加 C、Si、Mn 含量的合金的烧损率,不能按 316 不锈钢计算,需制定适用于 M35-1 镍铜合金的熔炼工艺,合理控制合金成分范围,才能有效提高其力学性能合格率。合金中 Ni、Cu 易氧化成渣,采用过滤网阻渣,在提升铸件品质的同时,也能保证力学性能的稳定性。

参 考 文 献

[1] 赵永久,王成,张伟.M35-1 蒙乃尔(Monel)合金熔焊焊接性能探讨[J].现代铸铁,2012(11):20-21.
[2] 毛有武.非真空中频感应电炉熔炼蒙乃尔合金[J].特种铸造及有色合金,2002(2):8-9.
[3] 郑丹,段汉桥.泡沫陶瓷过滤技术在铸造领域的应用[A].第十届中国铸造协会年会论文集[C].北京,2012.

(编辑:刘卫)

美国两协会联合倡导——重视铝
饮料罐可持续性发展

近日,美国铝业协会和罐头加工业协会(Can Manufacturers Institute 简称 CMI)联合发布了一份更新报告,详细叙述了铝罐在其他类型的包装应用优势正逐步增加。

报告中提到,研究表明铝罐的回收率约为塑料瓶的两倍。铝制饮料罐中可回收成分约占 73%,而玻璃瓶的可回收成分平均占比 23%,塑料瓶仅有 6%或更少。

同时,铝业协会和 CMI 还着重强调了铝罐回收对环境可持续发展的重要性。

罐头加工业协会总裁 Robert Budway 介绍:“美国现有的铝制饮料罐循环系统每年回收约 450 亿只铝罐,其中 90%以上的回收罐被再加工成制造新铝罐的材料,可回收成分(废铝和其他废金属)约有 73%。尽管回收水平远高于其他饮料容器,但还需要采取更多的行动促使铝罐免于流入垃圾填埋场。”

报告中还提到,2019 年铝行业回收率为 55.9%,2018 年为 63.6%。

自 2020 年以来,美国多地铝罐供应告急,有行业人士表示,铝罐短缺的问题自 2019 年 12 月便已显出苗头,而新冠肺炎疫情的爆发加剧了供应不足。目前已有企业表示已看到铝罐料市场的巨大潜力,Envases 集团、波尔公司等均已筹备铝罐新工厂或扩建产能。

(摘自中国有色网)