DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.06.007

输电设备耐热铝合金在不同铸造工艺下的性能研究

石　磊[1],郑成博[2],尹洪泉[1],梁凤敏[1],董　博[1]

(1.国网冀北电力有限公司,河北 唐山 063000;2.河钢集团唐钢公司,河北 唐山 063000)

摘　要:通过拉伸试验机、光学显微镜以及扫描电镜,对比变电站输电设备用耐热铝合金材料在挤压和重力铸造中的高温力学性能。试验表明:同重力铸造合金比较,孔洞和针状 Al_7CuFe 相在挤压铸造合金中都有所减少,块状 Al_9FeNi 相也变得细小和弥散;挤压铸造合金经热处理后在 300 ℃下的抗拉强度、屈服强度和伸长率相比于重力铸造合金均有所提高。

关键词:耐热铝合金;挤压铸造;重力铸造;高温力学性能;输电设备

中图分类号:TG146.2;TG115　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)06-0544-03

Study of Mechanical Properties of Heat Resistant Aluminum Alloy for Transmission Equipment Under Different Casting Technology

SHI Lei[1], ZHENG Chengbo[2], YIN Hongquan[1], LIANG Fengmin[1], DONG Bo[1]

(1. North China Electric Power University, Tangshan 063000, China; 2.Hebei Steel Group Tangshan Iron and Steel Co., Ltd., Tangshan 063000, China)

Abstract: High temperature mechanical properties of heat resistant aluminum alloy used in transmission equipment in squeezing and gravity casting were compared by tensile testing machine, optical microscope and scanning electron microscope. It is shown that the gravity casting alloy, holes and acicular phase in Al_7CuFe alloy in squeezing casting has been reduced, blocky Al9FeNi phase became fine and dispersion; squeeze casting alloy after heat treatment at 300 DEG C, its tensile strength, yield strength and elongation compared to gravity casting alloy were improved.

Key words: heat aluminum alloy; squeeze casting; gravity casting; high temperature mechanical properties; power transmission equipment

耐热铝合金材料密度低,具有非常好的导热、导电性能,在供配电领域应用非常广泛。随着该领域对输电设备性能要求不断提高,需要材料具有更好的耐热性[1-3]。就目前国内外研究来看,增加锆、铼、镍等元素虽然能有效提高材料耐热性,但会导致合金成分复杂,增加了生产成本。文献[4]通过对富铁相对合金高温力学性能影响的研发,结果 α-Fe 相有助于提高合金的耐热性能,而且还有骨骼状富铁相和块状富铁相才会提高材料的高温强度。挤压铸造将铸造和锻造合二为一,在高压作用下使液态金属凝固得到致密均匀组织,是先进的成形工艺。本文以成分简单、高铁含量耐热铝合金为研究对象,研究了重力铸造和挤压铸造两种不同工艺下,富铁耐热铝合金的高温力学性能。为高负荷输电设备的加工和生产提供了可靠支持。

1　实验方法

本文选取的中间合金为 Al-6Mn、Al-2FeSi、Al-9FeNi 和 Al-6Cu3Ni,原材料为 99.99%的纯铝。利用 RJ2-75-6 型井式电阻炉将上述材料熔炼,SU-07 固体精炼剂作为熔体。熔炼完成后排气、除渣,690±5 ℃浇注模具。熔炼后合金成分见表 1。

表1 炼后合金的化学成分 w(%)

Tab.1 Chemical composition of alloy after smelting

元素	Si	Ni	Fe	Mn	Cu	Al
含量	0.05	1.02	1.13	0.62	4.97	Bal.

挤压铸造与重力铸造的模具相同,润滑剂为石墨机油。浇注前将 CR8 模具预热到 200 ℃,在 1 500 kN 四柱液压机上进行直接挤压铸造,80 MPa 的挤压力,0.015～0.020 m/s 的挤压速度,60 s 的保压时间。两种铸锭尺寸均为 ϕ80 mm ×40 mm,然后对其进行如图 1 热处理。截取 ϕ8 mm 的拉伸试样在

收稿日期:2017-11-11

作者简介:石　磊(1979-),河北唐山人,硕士研究生,高级工程师.主要从事供用电技术方面的工作.

通迅作者:郑成博(1981-),河北唐山人,硕士研究生,高级工程师.主要从事工业节能方面的工作.

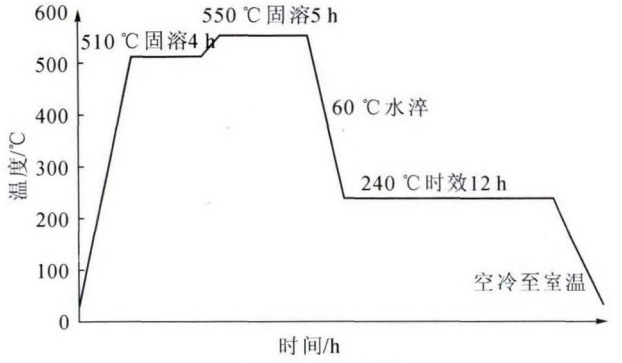


图 1 热处理工艺

Fig.1 Heat treatment process

铸锭相同半径的位置，在万能材料试验机上进行拉伸性能测试，参照 GB/T5002-2013，0.8 mm/min 的拉伸速度，3 个试样的平均值为测量结果。截取金相试样在铸锭上相同位置，抛光，然后采用 0.8%氢氟酸水溶液腐蚀，在光学显微镜上观察。在扫描电子显微镜及附带能谱仪上进行拉伸断口观察和能谱分析。

2　实验结果分析

如表 2，室温和 300 ℃时，挤压铸造合金的抗拉强度，屈服强度，伸长率相比于重力铸造均有所提高。合金的抗拉强度、屈服强度与温度升高成反比，伸长率与温度升高成正比。

如图 2，不同铸造工艺下的试样的铸态组织，由此看出，铸态组织主要是由铝基体及基体之间的第二相组成。第二相分为 A、B、C 3 种形态，结合参考文献 [5] 结果（表 3）可知，A 相为 Al_7Cu_3，B 相为 Al_7CuFe，C 相为 Al_9FeNi。由图 3，热处理后的重力铸造合金，其富含大尺寸铁相，第二相呈针状或块状。热处理后的挤压铸造合金，铁相尺寸较小，还存在弥散状块状 Al_9FeNi 相，第二相成封闭网状。由图 2 和图 3 相比较，经热处理后，富铁相和富镍相的边缘变得圆钝。

表2 室温及300 ℃的力学性能对比

Tab.2 Mechanical properties of room temperature and 300 ℃

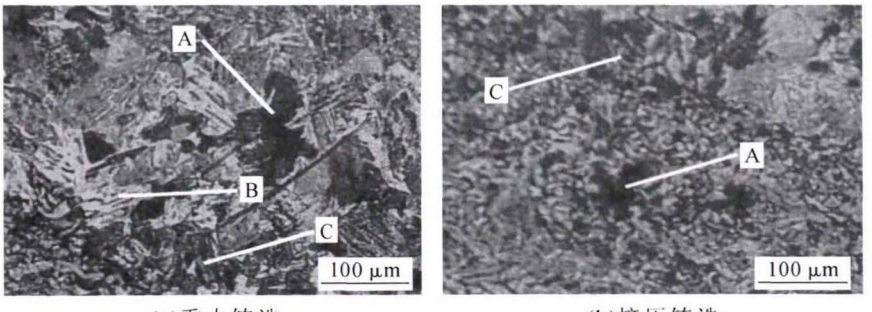
铸造工艺	屈服强度 /MPa		抗拉强度 /MPa		伸长率(%)	
	室温	300 ℃	室温	300 ℃	室温	300 ℃
重力铸造	215	177	256	208	4.2	6.7
挤压铸造	232	192	277	223	8.9	12.2

表3 第二相EDS能谱结果 w(%)

Tab.3 EDS resulilts of the second phases

第二相	Al	Cu	Ni	Fe	Mn
A	69.83	29.18	-	0.99	-
B	72.12	11.83	2.88	10.92	2.25
C	88.45	0.09	6.24	5.15	0.07

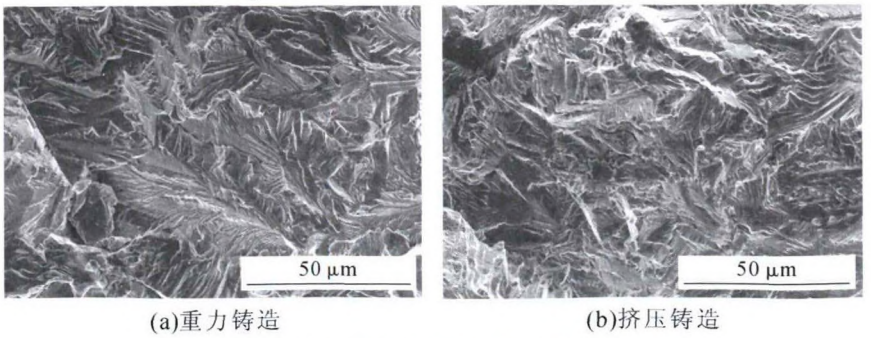
如图 4，室温重力铸造合金断口形貌中，清晰可见针状富铁相，300 ℃断口形貌呈现韧性断裂。挤压铸造合金断口形貌中，相比重力铸造出现的韧窝和撕裂棱尺寸有所减小，同时，孔洞和针状富铁相也有所减小，粒状和块状富铁相相对增多。随着试样温度的增加，韧窝显著增多，且均匀细小，具有韧性断裂的显著特征。



(a)重力铸造　　(b)挤压铸造

图 2 铸态显微组织

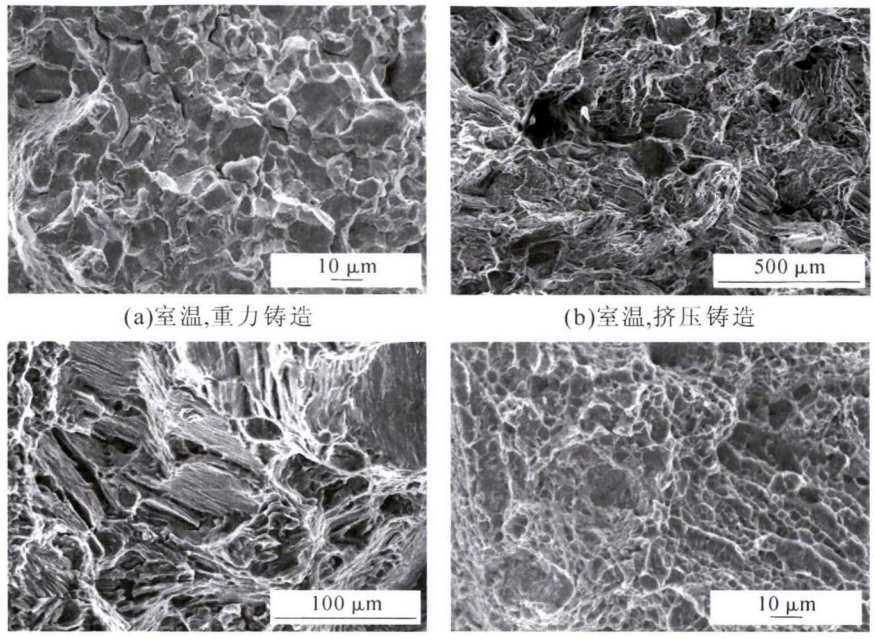
Fig.2 Microstucture of cast alloy prepared



(a)重力铸造　　(b)挤压铸造

图 3 两种工艺制备合金热处理后的显微组织

Fig.3 Microstucture of treated alloy prepared by gravity die casting



(a)室温,重力铸造　(b)室温,挤压铸造

(c)300 ℃重力铸造　(d)300 ℃挤压铸造

图 4 不同工艺制备合金的拉伸断口形貌

Fig.4 Fracture morphology o alloy prepared in different processes

3 讨论

试验结果表明,与重力铸造合金相比,输电设备耐热铝合金材料在室温和高温下的力学性能都有明显的提升。如图 4,虽然挤压铸造会导致缩松缺陷,但和重力铸造相比,挤压铸造显著提高了试样的伸长率和强度。而且,挤压铸造下针状 Al_7CuFe 相析出量明显减少,使得 Al_9FeNi 相呈小块状,有效地抑制了富铁相的成长,对试样拉伸性能的提高起到了促进作用。

铝合金材料的高温力学性能受晶界第二相强化、基体第二相沉淀及固溶影响较大。随着温度的升高,原子热振动的振幅逐渐增大,削弱了原子结合力。在室温环境下,合金位错、相界、晶界以及溶质原子间的交互作用则大大降低,削弱了基体的力学性能。因此在高温下会减弱固溶强化和沉淀强化作用,在高温下第二相强化成为铝合金的强化机制[5]。第二相强化作用与其成分、形状、大小以及分布相关。热稳定性好以及复杂形状的化合物形成封闭的骨骼状或网状分布于晶界上时,合金耐热性能好。文献[5]指出,Al_9FeNi 相和 Al_7CuFe 相具有较好的热稳定性。高温环境下,这两相呈现出封闭的网状结构,增加了合金的力学性能。由此可见,挤压铸造工艺具有提高合金的室温和高温力学性能的优点。

4 结论

输电设备耐热铝合金材料的孔洞以及针状 Al_7CuFe 在挤压铸造中致使相减少,然而块状 Al_9FeNi 相变得细小弥散,有助于提高其室温和高温力学性能。相比于重力铸造合金,该合金材料会提高其室温力学性能,高温力学性能以及伸长率;在 300 ℃下挤压铸造合金的抗拉强度、屈服强度及伸长率相比于重力铸造合金均有所提高。

参考文献:

[1] 隋育栋,王渠东. 铸造耐热铝合金在发动机上的应用研究与发展[J]. 材料导报,2015(3):14-19.

[2] 李志辉,熊柏青,张永安,等. 热变形方式对 2D70 耐热铝合金组织与性能的影响[J]. 材料导报,2011(2):84-88.

[3] 贺毅强,徐政坤,陈振华. 快速凝固 Al-Fe 系耐热铝合金的研究进展[J]. 材料科学与工程学报,2011(4):633-638,613.

[4] 水丽,张淑荣,李红. Al-RE-Cu-Mn-Si 铸造铝合金高温性能研究[J]. 铸造,2014,63(7):528-530.

[5] 娄照辉,郑成坤,林波,等. 重力铸造与挤压铸造Al-5.0Cu-0.6Mn-1.0Fe-1.0Ni 合金的高温力学性能对比 [J]. 机械工程材料,2014(8):84-87,92.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2019 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号:52-64　国外发行号:M855　国内定价:18 元/本　海外定价:18 美元/本