600 MPa级高强焊丝用盘条控冷工艺研究*

吕 刚,杨鲁明,赵晓敏

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章研究了600 MPa级高强焊丝用盘条的轧制控冷工艺。分析了合金元素对焊丝性能的影响,通过CCT曲线测定确定热轧状态下焊丝钢不同冷却速度下相转变温度区间,同时分析了吐丝温度、冷却速度对焊丝用钢拉拔性能的影响。实践证明,600 MPa级高强焊丝用盘条各项指标均满足用户要求。

关键词: 600 MPa高强焊丝; 控冷; 盘条

中图分类号: TG335.6^{+3} **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2021)05-0072-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.05.018

Research on Controlled Cooling Process of Wire Rod for 600 MPa Grade High Strength Welding Wire

Lv Gang, Yang Lu-ming, Zhao Xiao-min

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, it is studied the stelmor process of wire rod for 600 MPa grade high strength welding wire and analyzed the influences of alloying elements on the performances of welding wire. The phase transition temperature intervals of hot-rolled welding wire steel at different cooling rates are determined by CCT curve measurement. Moreover, the influences of tapping temperature and cooling rate on the drawing performance of welding wire steel are analyzed. The practices prove that all indexes of wire rod for 600 Mpa grade high strength welding wire could meet user requirements.

Key words: 600 MPa high strength welding wire; controlled cooling; wire rod

近些年,气体保护电弧焊在国内应用日趋广泛。随着高强钢的需求不断增加,其所匹配的焊丝种类也逐年增多,强度级别也逐年趋于上升状态,强度级别分为500 MPa、600 MPa、700 MPa、800 MPa及以上。除了常用的500 MPa级焊丝外,600 MPa级焊丝是高强焊丝里用量最大的,被广泛用于压力容器、电力、汽车以及机械制造、桥梁、大型机加工行业,市场需求旺盛[1]。为了保证600 MPa级焊丝的使用性能,其母材焊丝用盘条的轧制控冷工艺的研究具有重要的现实意义。

1 化学元素对焊接用钢性能的影响

焊接用钢的最大特点是必须保证焊丝焊接的焊缝质量、力学性能和拉拔工艺性能的要求,因而对钢的化学成分有严格要求。高强焊丝种类繁多,不同合金系列焊丝适用于不同合金钢,为了得到焊缝的金属强度与母材强度相匹配的结果,需对焊缝处添加必要的合金元素进行成分补偿,目的在于焊后得到在焊缝处的金属与母材成分和性能更接近的效果。本文介绍的就是一种常用的Si-Mn-Cr-Ti

* **收稿日期**: 2021-08-20

作者简介: 吕 刚(1983-),男,山西省河曲县人,高级工程师,现从事长型材新产品研发工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

系 600 MPa 级高强焊丝用钢 ER60 – G。

1.1　化学成分

表 1 为 ER60 – G 化学成分。

表 1　ER60 – G 化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti
≤0.10	0.80 ~ 1.00	1.40 ~ 1.60	≤0.025	≤0.025	0.10 ~ 0.30	0.05 ~ 0.20

1.2　各元素对焊接用钢的影响

碳是间隙固溶元素,其强化效果明显,能够迅速提高焊缝强度,但同时会大大降低冲击韧性及提高韧脆转变温度。碳含量高是造成焊缝冷、热裂纹的主要原因。当原材料碳含量超过 0.09% 时,金属飞溅颗粒明显增大,极易引起斯太尔摩轧辊送丝不畅和导电嘴堵塞,给使用带来极大不便。碳含量较高,盘条抗拉强度高,在拉拔的过程变形抗力大,既不利于快速拉拔,也对模具损耗产生较大影响。

硅、锰元素是保证焊丝用盘条性能的重要元素,锰元素是焊缝强化的有效元素,在焊缝中有利于脱氧,防止引起热裂纹的铁硫化物的形成,锰元素可以提高焊缝金属的淬透性,抑制共析铁素体的产生,促进针状铁素体的形成。硅元素能够防止焊缝的氧化以及稳固基体,保证焊缝强度,硅元素在焊接时起到脱氧作用与强化焊缝的作用,作为脱氧剂补充焊接过程中的烧损,防止气孔产生,细化熔滴,稳定电弧,保证焊缝力学性能。但较高的锰、硅含量也会增加钢中的偏析程度和夹杂物含量,出现带状组织,较高的锰和硅含量也不利于拉拔,加剧拉丝模具磨损,增加用户成本,因此硅含量应控制在适当范围。

磷、硫为钢中有害元素,含硫较高的钢在高温加工时,容易引起钢的热脆,磷能够使钢的塑性和韧性明显下降,使钢材发生冷脆,其在标准范围内越低越好。

铬元素能够提高焊丝钢强度,因此要稍微降低锰和硅含量,使强度不要太高,否则盘条的拉拔性能难以保证。铬元素可以提高焊缝韧性的同时还可以和碳形成弥散分布的碳化物提高焊缝强度,铬元素有利于提高针状铁素体的含量,减少先共析铁素体,并有细化铁素体晶粒的作用,提高焊缝强度韧性,但是较高的铬元素增加了钢的淬透性,使钢材在轧制过程中对冷却速度的变化较为敏感。

钛元素能够细化晶粒从而提高钢的强度和韧性,是一种微合金强化元素,它与氮、碳形成氮化钛及碳化钛质点来达到细化晶粒的目的,从而提高焊缝的综合机械性能[2]。

2　轧制控冷工艺的研究

通过对该钢种的控冷工艺研究,确定热轧状态下焊丝钢的相转变温度区间及合理的冷却速度,测量 ER60 – G 的 CCT 曲线见图 1。

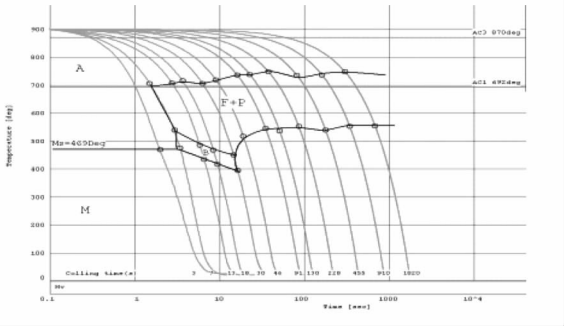


图 1　ER60 – G 的 CCT 曲线

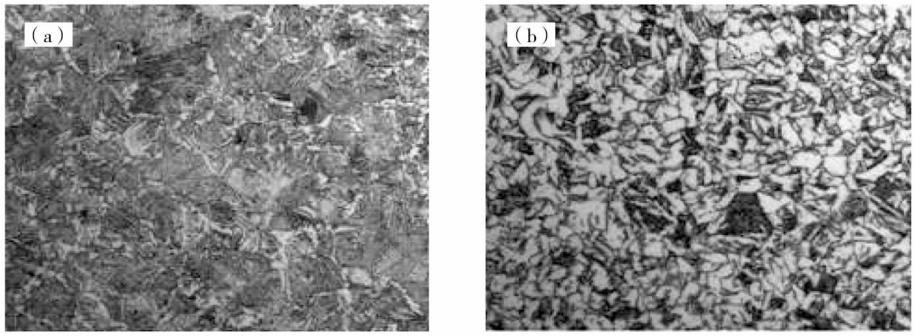
ER60 – G 的 A_{c3} 温度为 845 ℃,A_{c1} 温度为 760 ℃,M_s 温度为 475 ℃,通过冷却曲线看出不同冷速下对应金相组织情况,不同冷速下金相图片见图 2。

从不同冷速下的组织照片可以看出,冷却速度较快时会出现马氏体或贝氏体,这种马氏体或贝氏体在后续拉拔中不易变形,致使断裂出现。由于 ER60 – G 成分中碳含量很低,所以冷却时开始相变温度与相变结束温度相差较大,即相变温度区间较大,同时由于硅、锰含量较高,导致 C 曲线右移,组织中出现贝氏体可能性增大。在冷却速度足够慢的情况下,冷却速度在 1 ℃/s 以下时使奥氏体到铁素体的转变进行完全,可以获得有利于拉拔的等轴铁素体 + 珠光体组织。随着冷却速度的进一步降低铁素体进一步粗大,晶粒度级别降低。

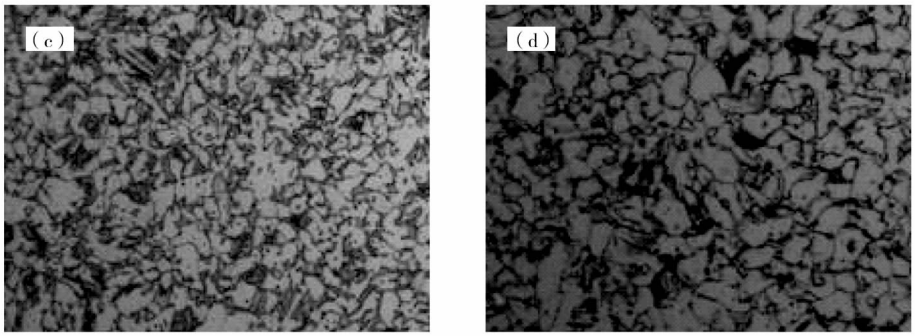
在相变温度区间应尽可能缓冷,避免贝氏体组织的形成。冷却时相变温度区间较大,当冷速小于 1 ℃/s 时可获得铁素体和珠光体,避免出现贝氏体

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

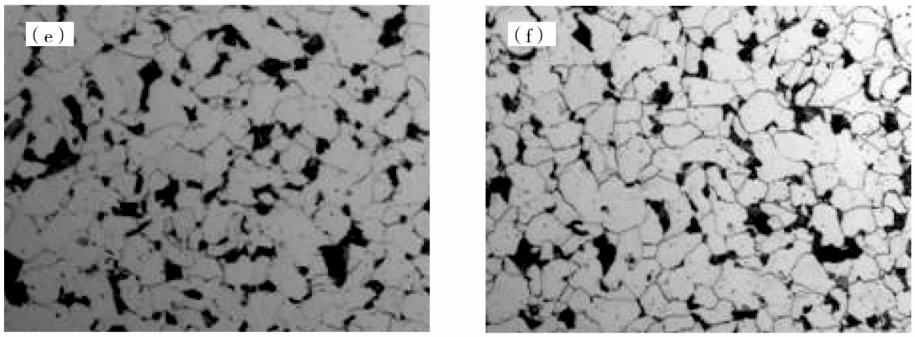
和马氏体组织。因此在控制吐丝温度的同时，采用延迟型控冷工艺，在相变区间尽可能缓冷；采用低的盘条的运输速度，关闭风机，适当加盖保温罩，同时控制出保温罩的温度。盘卷在保温罩内的冷却速度为0.75 ℃/s，满足盘条在辊道上的冷却速度应当小于1 ℃/s的要求。



(a) 冷却速度45 ℃/s组织M　　(b) 冷却速度25 ℃/s组织B+P+F



(c) 冷却速度15 ℃/s组织P+F　　(d) 冷却速度7 ℃/s组织P+F



(e) 冷却速度1 ℃/s组织F+P　　(f) 冷却速度0.5 ℃/s组织F+P

图2　不同冷却速度组织照片

3　轧制

焊丝钢盘条要求主要组织为铁素体+珠光体，不得出现贝氏体、马氏体和针状铁素体(魏氏体组织)及混晶组织。

ER60-G焊丝钢的锰、硅的含量较高，使CCT转变曲线向右下方移动，推迟并延长转变时间，因此该钢种的冷却应采用延迟型冷却，使盘条在近似等温转变的条件下生成铁素体和珠光体。实际工艺控制是使盘条在稍高于相变点的温度下进入保温罩，并采用较低的辊道速度，使盘条在保温罩内以缓慢的冷却速度发生相变，并得到铁素体和珠光体组织，必须保证盘条通条性能均匀且控冷时防止盘条搭接密集点控冷不均[3]。

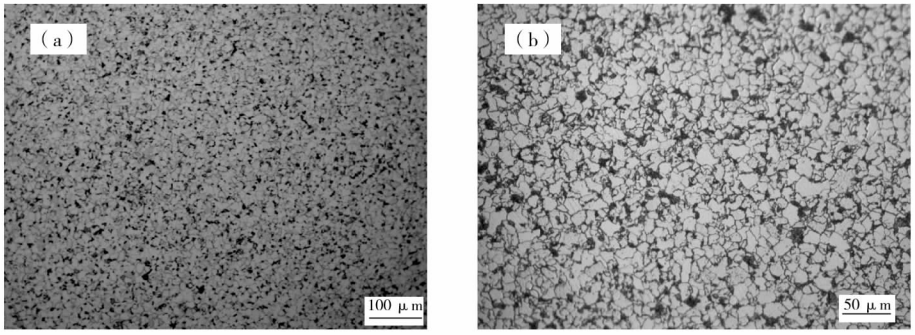
由于吐丝温度高，冷却速度又较慢，所以奥氏体分解在高温区进行，并且分解转变的时间较长，这有

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

利于先共析铁素体的充分析出和长大，粗大的奥氏体转变为晶粒度级别较低的铁素体和少量的碳化物组织，相对于细小晶粒的铁素体组织，抗拉强度下降。

从理论分析，吐丝温度过高，奥氏体晶粒过于粗大，相变中铁素体晶粒粗大且不均匀，在后续拉拔过程中会产生不均匀变形引起应力集中导致拉拔断丝。

轧制焊丝钢时要经常更换轧辊、轧槽，严格检查导卫，保证盘条表面质量良好。轧制时斯太尔摩冷却风机全部关闭，冷却线保温罩关闭。



(a) 100倍金相组织　　(b) 200倍金相组织

图 3　ER60 – G 焊丝用盘条金相组织照片

由图 3 可以看出金相组织均为铁素体和珠光体，晶粒度为 10 级，吐丝温度在(900 ± 20) ℃时，采用延迟型冷却模式，盘条可以得到理想的组织。

表 2　ER60 – G 力学性能

项目	屈服强度 R_{el}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	延伸率 A/%	面缩率 Z/%
ER60 – G	432 ~ 442	639 ~ 647	29.5 ~ 33.5	65 ~ 68
用户目标要求	≥400	≥600	≥20	≥55

由表 2 可以看出，成品盘条性能满足用户要求。

4　结论

(1) 通过对焊丝钢不同冷却速度下相转变温度区间的测定，结合轧机斯太尔摩冷却线设备特点，盘条吐丝温度在(900 ± 20) ℃，盘卷在保温罩内的冷却速度为 0.75 ℃/s 时，获得了理想的铁素体和珠光体组织。

(2) 采用上述工艺生产的 600 MPa 高强焊丝钢用盘条产品质量得到国内焊丝生产厂的认可，为企业创造了良好的经济效益。

参　考　文　献

[1] 谭长瑛，温安然. 600 MPa 级 CO_2 焊丝合金元素对强韧性的影响 [J]. 焊接，1995，(8)：2 – 3.

[2] 赵虎，张素萍. ER70S – 6 焊接用热轧盘条的生产实践 [J]. 河北冶金，2007，(2)：53 – 54.

[3] 孙中伟，杨茂麟. ER70S – 6 焊丝生产工艺研究 [J]. 现代机械，2010，(5)：65 – 66.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net