

GMAW实芯焊丝熔敷金属性能复验条件的讨论

王庆伟

【摘要】 GMAW熔敷金属力学性能和冲击性能受焊接工艺条件的影响，工艺条件的变化带来相应的焊缝组织性能变化；本文主要讨论如何解决由于焊材试验条件与产品焊接工艺评定条件不统一，导致焊材与母材性能不匹配的问题。

关键词： GMAW；实芯焊丝；性能试验；焊接工艺评定

1. 概述

熔化极气体保护焊（GMAW）是以可熔化的金属焊丝作电极，并由气体作保护的电弧焊。与焊条电弧焊相比，GMAW具有焊接效率高、熔敷金属含氢量低、熔深大、焊接变形小等优点，由此在桥梁钢结构、工程机械、石油化工及电力装备等行业中得到广泛的应用，但在焊接材料选择和检验方面存在一定的问题。例如公司风电产品外购的Q345E钢焊接结构件，多数制造厂会按照国标GB/T 8110选择ER50—6焊丝，按标准规定的试验条件复验合格后用于产品。在质量抽查时发现，由于复验试板与产品焊接工艺评定条件不统一，导致熔敷金属的力学、冲击性能与母材不匹配。因此，以产品焊接工艺评定规定的试验条件，完善实芯焊丝熔敷金属的复验方法是亟待解决的问题。

2. 焊接工艺条件对GMAW熔敷金属性能的影响

（1）GMAW 焊接工艺评定因素 按照NB/T 47014和ASME第IX卷标准的规定，GMAW的焊接工艺评定因素分为重要因素（影响力学性能和弯曲性能）和补加因素（影响冲击性能）。主要包含：①焊接材料类别（实芯、药芯之间变更）。②焊接位置（从评定合格的位置改为立向上）。③道间温度（比评定记录值高50℃）。④保护气体（单一气体、混合气体及比例的变更）。⑤焊接电流种类和极性（直流正接或直流反接）。⑥焊接热输入（超过评定合格值）。⑦熔滴过渡方式（其他过渡方式变为短路过渡或反之）。⑧焊后热处理（保温温度和保温时间范围的变化）。

由此可见，焊接热输入、道间温度、焊接位置、保护气体及

焊后热处理等焊接工艺条件的变化，直接影响焊接接头的力学性能和冲击性能，相应对熔敷金属的性能也会产生影响。

（2）焊接热输入 随着焊接热输入的增加，熔敷金属中的合金元素烧损也随之增加，焊缝金属中的合金元素减少，使焊缝金属的强度、韧性呈下降趋势；同时，焊接热输入的提高使焊缝的熔深增加，受到后续焊道热循环作用的高温再热区组织比例增加，也进一步降低了焊缝金属的强度和韧性。而小热输入条件下的多层多道焊所产生的细化晶粒及回火作用，对焊缝金属的强度和韧性也有一定的改善作用。

焊接热输入增加时，不同含锰量的焊缝，其屈服强度和抗拉强度均呈下降的趋势，尤其是对屈服强度的影响更加显著。如图1和图2所示，就中等含Mn量的焊缝而言，热输入从6kJ/cm增加

到43kJ/cm后,其屈服强度下降约100MPa。

焊接热输入过大或过小对焊缝金属的冲击韧性均不利。从整个接头的性能考虑,最好采用常规的不摆动窄道焊,但是以太快的焊速施焊会有大量的硅和氧过渡到熔敷金属,使焊缝韧性下降;而太慢的焊速会引起晶粒粗大,也会导致焊缝韧性大幅度下降。

(3) 道间温度 随着道间温度的提高,焊缝的屈服强度和抗拉强度均有所下降,如图3和图4所示。焊缝含Mn量越高,其下降幅度越大; w_{Mn} 量为1.4%的焊缝,道间温度从20℃提高到300℃时,其强度下降值达100MPa。

道间温度提高,焊缝的脆性转变温度下降,即冲击性能得到改善,这是因为焊缝中柱状晶区减少,重结晶区增加,尽管晶粒尺寸较大,却仍表现出良好的韧性。但如果晶粒尺寸长大到一定程度,将会导致焊缝韧性的下降。

(4) 焊接位置 在实际焊接施工过程中,较多的焊接位置为平焊1G和立向上焊3G(UP),在3G(UP)位置施焊时,焊接速度较慢,电弧高温停留时间长,焊接热输入较1G位置高,导致焊缝重结晶区的晶粒粗大。因此,按3G(UP)位置施焊的焊缝具有较高的脆性转变温度,焊缝金属韧性相对较差。

(5) 保护气体 纯CO₂和80%Ar+20%CO₂混合气广泛用于焊接碳钢和低合金钢。80%Ar+20%CO₂混合气体保护焊

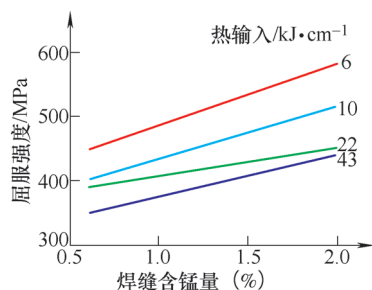


图1 热输入对屈服强度的影响

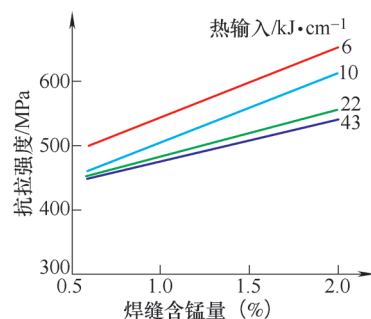


图2 热输入对抗拉强度的影响

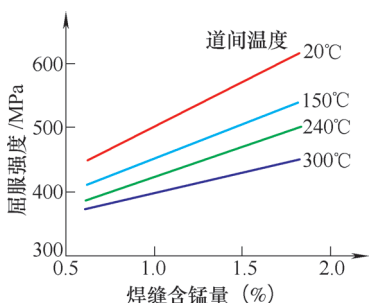


图3 道间温度对屈服强度的影响

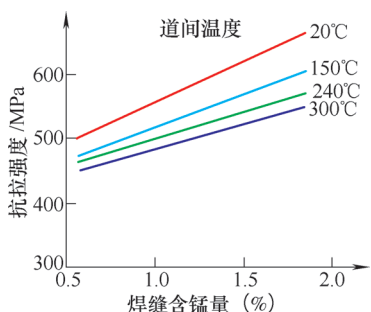


图4 道间温度对抗拉强度的影响

熔敷金属中Si、Mn含量较高,对焊缝金属起到强化作用,因此抗拉和屈服强度均得到提高。

80%Ar+20%CO₂混合气氧化性较弱,熔敷金属含氧量低,MnO和SiO₂等氧化物夹杂减少,且减少合金元素的烧损、避免焊接区增碳,有助于降低脆性转变温度、提高焊缝的冲击韧性。随着混合气体中CO₂含量的增加,焊缝金属的冲击韧性下降,当采用纯CO₂保护时,冲击韧性趋于最低值。

(6) 焊后热处理 普通的C-Mn系焊缝经焊后热处理会软化,抗拉、屈服强度降低,且屈服强度比抗拉强度下降的更多。强度下降的大小受化学成分的综合影响,也受热处理不同的保温温度和保温时间的影响。针对500MPa强度级别的实芯焊丝,焊后退火保温温度越高、保温时

间越长,熔敷金属的强度则下降的越多。

焊后热处理对焊缝金属冲击韧性的影响与C/Mn的含量有密切关系。当C/Mn含量低时,热处理会提高其冲击韧性;C/Mn含量高时,热处理对焊缝的冲击韧性有影响;C/Mn含量处于中等水平时,经热处理后焊缝金属的脆性转变温度基本不变。

3. 国家标准GB/T 8110焊丝的复验条件及其局限性

(1) 标准规定的复验条件以ER50—6焊丝熔敷金属的力学性能试验为例,GB/T 8110标准中规定试件在平焊1G位置制备,试板定位焊后在室温下进行焊接,在焊接过程中保持道间温度(150±15)℃,试板温度超过时,应静止在大气中冷却。复验试板焊接参数如表1所示,焊后

不经热处理。

(2) 复验条件的局限性 结合实际产品(Q345E钢)的焊接工艺评定条件,分析表1复验试板焊接参数,有以下几点局限性:①焊接热输入(10.8~20.6) kJ/cm,符合常规平焊1G位置的施焊热输入。但在实际焊接施工过程中,焊接位置存在平、横、立等。其中横焊时,为了保证良好的焊缝成形,需要采用较小的焊接热输入;而在平焊和立焊时为了提高焊接效率,需要采用较大的焊接热输入,尤其是立焊较平焊的热输入更大。②焊接速度27~39cm/min偏大,在实际操作过程中,焊接速度不能完全控制在(5.5±1.0) cm/min,比如平焊、立焊通常就低于标准的规定。在焊接电流、电弧电压不变的条件下,焊接速度降低将导致焊接热输入的增加。③道间温度(150±15)℃偏小,由于钢材具有良好的焊接性,一般不需要进行如此严格的道间温度控制。④关于保护气体的选择,标准中规定焊丝试验使用纯CO₂,制造厂有时会使用混合气80%Ar+20%CO₂进行试验,在实际产品中又使用纯CO₂。⑤标准中规定ER50—6焊丝检验在焊态下进行,焊后不经热处理。实际产品多数要求进行焊后消除应力热处理,以保证加工尺寸的精度和运行的可靠性。

根据以上分析,针对Q345E钢,按GB/T 8110标准选择和复验材料,可能会导致实际焊缝的强度远低于标准规定的下限值,使韧性不足。经过对制造厂使用

的多个焊材企业的相关产品进行检验,发现均存在此共性问题,其直接后果是可能导致焊材与母材不匹配。

(3) 焊接材料复验条件与焊接工艺评定条件的匹配 随着钢材冶炼轧制水平的提高,低合金高强钢S、P杂质含量远远低于标准值,钢材的焊接性水平得到了极大提高,配套的特殊定制“-G”类焊接材料广泛应用于各类机械产品,钢材和焊材适应的焊接热输入得到提高。

以风电产品使用的Q345E钢为例,在热输入达到50kJ/cm时(见表2),匹配特殊定制的焊接材料ER50—G,焊后经610℃×6h退火,焊接接头的抗拉强度高于母材标准的下限值,焊缝和热影响区的冲击韧性优良,接头具有优良的综合机械性

能,理化检测结果如表3所示。

焊接Q345E钢,按标准选择ER50—6单从强度方面是可行的,按标准规定的复验条件,焊缝金属的-40℃冲击韧性也满足要求,下表4为某焊材厂家的ER50—6焊丝在两种不同的工艺条件下,进行的全焊缝金属拉伸试验和-40℃冲击试验。

从表4试验结果来看,由于产品焊接工艺评定与标准中对熔敷金属的工艺要求相去甚远,导致焊缝金属强度、韧性偏低。但是在近年的多数制造活动中,制造厂使用ER50—6焊接Q345E的现象却一再发生。这是因为制造厂对材料检验生搬硬套标准,对焊接产品的特性认识不足,试验标准与实际生产脱节造成的。错误的选择焊接材料,给产品的抗疲劳性能带来有害的影响。

表1 复验试板焊接参数

焊丝 型号	焊丝直径 /mm	保护 气体	焊接 位置	电弧电压 /V	焊接电流 /A	电源 极性	焊接速度 /cm·min ⁻¹	最大热输入 /kJ·cm ⁻¹
ER50—6	1.2	CO ₂	3G (UP)	27~32	260~290	直流反接	5.5±1.0	20.6

表2 Q345E焊接参数

焊丝 型号	焊丝直径 /mm	保护 气体	焊接 位置	电弧电压 /V	焊接电流 /A	电源 极性	焊接速度 /cm·min ⁻¹	最大热输入 /kJ·cm ⁻¹
ER50—G	1.2	CO ₂	3G (UP)	25~28	160~180	直流反接	6	50

表3 理化检验结果

拉伸试验		冲击试验		弯曲试验
抗拉强度/MPa	断裂 位置	缺口 位置	-40℃冲击吸收能量/J	D (弯芯直径)=4t (试样厚度) α (弯曲角度)=180°
478、477	断于焊缝	焊缝	131、109、90	4件侧弯试件无裂纹
485、485	断于焊缝	HAZ	295、191、314	

表4 ER50—6焊材复验结果对比

试验类型 试验条件	全焊缝金属拉伸试验		焊缝金属冲击试验	试验状态
	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	-40℃KV ₂ /J	
按表1参数	531	401	70、85、100	焊态
按表2参数	488	331	19、12、20	退火610℃×6h

(下转第29页)

熊谷A—300X，焊接材料选用的均是金桥焊材，直径为1.2mm，规格分别为E70C—6M—H4和E81T1—M21A4—G，具体选择如表1所示。

焊接工程中严格执行工艺要求，保证各层的焊接参数和温度要求， $\phi 813\text{mm} \times 12.5\text{mm}$ 的工艺参数如表2所示。

6. 结语

通过制定合理的冬季施工措施和保温措施，在施工过程中严格执行各项工艺，同时进行及时有效的检查和检测，保证了中俄原油二线管道施工质量和施工效率，大庆油田在中俄原油二线累计施工470km，焊接一次合格率超过了96%。

表1 焊接电源、设备及焊材选择

工艺名称	打底	填充	盖面
焊接电源	米勒PIPEPRO450RFC	熊谷MPS—500	熊谷MPS—500
设备名称	—	熊谷A—300X	熊谷A—300X
保护气种类	80%Ar+20%CO ₂	80%Ar+20%CO ₂	80%Ar+20%CO ₂
焊接材料	E70C—6M—H4金桥	E81T1—M21A4—G金桥	E81T1—M21A4—G金桥

表2 焊接参数

焊道名称	电弧电压/V	摆频/次·min ⁻¹	摆宽/mm	送丝速度/cm·min ⁻¹	行走速度/cm·min ⁻¹	左右停留时间/ms
F1	21~24	80~100	2.0~3.0	650~700	30~35	150~250
F2	21~24	80~100	2.5~3.5	680~720	25~30	80~150
F3	21~24	80~100	5.0~7.0	650~720	20~25	80~150
CAP	21~24	80~100	8.0~10.0	600~650	18~22	30~100

作者简介：张先龙等，大庆油田工程建设公司培训中心。

MW 20171030

(上接第26页)

在国标GB/T 8110标准中，没有与Q345E钢性能匹配的焊丝，但标准中存在一类开放型的材料ERXX—G，对化学成分、力学性能、冲击韧性等验收指标未做出具体规定，包括试样状态（退火或焊态）都由供需双方协商确定。需方制定采购技术规范，明确焊丝复验的条件：包括焊接热输入、道间温度、保护气体及焊后热处理等，保持与产品焊接工艺评定条件一致，由焊材供应商通过调整材料的化学成分，控制原材料的S/P有害杂质元素的含量，最终使焊接材料性能满足产品的设计要求。

4. 结语

(1) 焊接材料熔敷金属的性能复验时，应遵守经评定合格

的焊接工艺条件。保证材料性能复验条件与焊接工艺评定条件的统一，避免选择到与母材不匹配的焊接材料。个别情况下选择特殊定制材料，对保证焊接接头的使用性能意义重大。

(2) 建议对现行标准GB/T 8110的试验条件进行修订，适当放宽限制条件，以符合实际焊接施工的需求。或者将焊材复验标准与焊材选择标准分开，为焊材与母材匹配的选择单独制订标准，以避免上述现象的发生。

(3) 随着钢材质量水平的提高，GB/T 1591标准中低合金高强钢的焊接性越来越好，有适应大焊接热输入的趋势，这使得当今的焊接生产活动更加高效。但现行国家标准中却没有与之匹

配的适应大焊接热输入的焊接材料，这就需要钢厂、制造厂和焊材生产厂商的频繁互动，将应用成熟的ERXX—G类焊接材料转化为标准材料进行推广应用。

参考文献：

[1] 尹士科.焊接材料及接头组织性能[M].北京：化学工业出版社，2011：278-282。
[2] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 8110—2008 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝[S].北京：中国标准出版社，2008。

作者简介：王庆伟，东方电气集团东方电机有限公司。

MW 20171030