

半自动药芯焊丝CO_2气体保护焊在锻焊齿轮中的应用

刘须收　吴建英　程涛　党朝阳

【摘要】本文通过对特殊材质42CrMo及Q345D异种钢焊接进行焊接性分析，通过焊接工艺评定确定合理的预热温度及焊接工艺，形成焊接工艺指导书WPS，用于指导车间焊接生产。

关键词：半自动药芯焊丝CO_2气体保护焊；锻焊齿轮；42CrMo；Q345D；焊接工艺评定

1. 概述

众所周知，铸造齿轮存在生产周期长、原材料利用率低、成本高等缺点，且在铸造过程中易出现疏松、夹渣和包沙等铸造缺陷，从而导致齿轮在使用过程中易出现断齿等问题。近年来，锻焊结构齿轮的出现，已成为世界上工业发达国家制造大齿轮的一种生产手段，并将逐步淘汰目前大型齿轮制造中沿用的整体铸造结构齿轮。

42CrMo为中碳调质钢，由于其自身具有较高的强度、硬度，且具有一定的冲击韧性，被广泛应用于调质齿圈中。Q345D属于Q345系列的钢种，属于低合金高强钢，具有较好的低温冲击特性，在锻焊齿轮中是作为腹板的优质材料。近年来，我公司将42CrMo进行调质处理，并进行锻造，然后应用到锻焊齿轮的齿圈中，将Q345D应用到焊接齿轮的腹板中。由于42CrMo碳当量高，焊接性差，为降低42CrMo焊接裂纹的风险，通常先在42CrMo上堆焊过渡层，然后与腹板进行焊接。

本文提出一种新的焊接方式，不堆焊过渡层，直接进行42CrMo与Q345D的焊接，并采用AWS D1.1—2010国际标准对焊接接头进行焊接工艺评定，根据评定结果形成焊接工艺指导书WPS文件，用于指导锻焊齿轮的焊接制造。

2. 试验前期准备

（1）焊接性分析　锻件母材42CrMo及Q345D的化学成分如表1、表2所示。

根据国际焊接学会推荐的碳当量计算公式计算可知，42CrMo碳当量为0.67%~0.88%，远远大于临界值0.40%，具有较高的淬硬和冷裂纹敏感倾向。如果工艺不合理，可能在焊接热影响区产生大量的马氏体，导致其严重脆化，从而增大焊接接头的冷裂倾向。Q345D碳当量为0.37%~0.50%，具有一定的淬硬倾向，但相对于42CrMo，焊接性较好，因此在制定焊接工艺时，需要重点考虑特殊材质42CrMo。

（2）焊接工艺选择　半自动药芯焊丝CO_2气体保护焊具有诸多优点，如操作灵活、焊接热

表1　42CrMo、Q345D化学成分（质量分数）　（%）

元素 / 钢种	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Nb	V
42CrMo	0.38 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.5 ~ 0.8	≤0.035	≤0.035	0.90 ~ 1.20	0.15 ~ 0.30	—	
Q345D	≤0.20	≤0.55	1.0~1.6	≤0.030	≤0.030	—	—	0.015~0.06	0.02~0.15

表2　42CrMo、Q345D力学性能

钢种	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	冲击吸收能量/J
42CrMo	≥500	≥750	≥40（20℃）
Q345D	≥295	470~630	≥27（-20℃）

影响区宽度小、焊接变形小等。基于以上优点，本产品拟采用CO_2气体保护焊进行焊接。采用等强度、等韧性的原则，选择焊丝E501T—1，其性能如表3所示。

（3）焊接坡口形式及焊接参数 按照国际上通用且权威性极高的焊接工艺评定标准AWS D1.1《美国钢结构焊接规范》设计焊接参数如表4所示。

3. 焊接难点控制

（1）预热温度的确定 由于42CrMo碳当量及冷裂纹敏感指数高，易产生焊接裂纹，因此焊前必须预热，其目的是为了降低焊接接头的冷却速度，减少马氏体产生的几率，从而改善焊接接头组织，避免产生冷裂纹。根据预热温度经验公式T=碳当量×360℃，可知42CrMo预热温度为241~317℃，Q345D预热温度为133~180℃。根据预热温度在选择时就高不就低的原则，应当选择42CrMo的预热温度，即预热温度为241~317℃。

为保证焊接接头不出现焊接裂纹，降低工人劳动强度，本次焊接试验中选择的预热温度为250℃。

（2）焊后缓冷 焊后立即用石棉布包裹焊接试板，以降低焊接接头的冷却速度，从而减少马氏体产生的几率，降低冷裂纹倾向。

（3）实际效果 通过采取焊前预热和焊后缓冷等工艺措施，焊后焊缝成形美观，未出现气孔、夹渣、裂纹等缺陷， UT、MT达到AWS D1.1标准要求，达到预期效果。

4. 焊接工艺评定

（1）拉伸试验 按照AWS D1.1—2010国际标准制作缩截面拉伸试棒，并采用ASTM A370进行拉伸试验。试验结果如表5所示。由表可知，焊接接头强度与母材相匹配，且高于母材规定的最低值470MPa，符合标准要求。

（2）弯曲试验 按照AWS D1.1标准对焊接接头进行弯曲试验，试验结果如表6所示。由表可知，焊接接头弯曲试样表面未出现裂纹、气孔等缺陷，符合标准要求。

（3）冲击试验 按照AWS D1.1—2010标准对焊接接头进行冲击试验，其结果如表7所示。由表可知，焊缝及热影区的冲击吸收功均高于母材规定的最低值，符合标准要求。

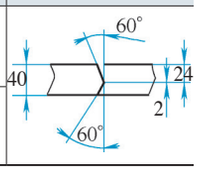
（4）金相分析 对焊接接头包括焊缝、热影响区及母材分别进行金相组织分析，结果如图2~图9所示。

由图1~图3可知，母材Q345D室温组织为珠光体+铁素体双相组织，其中铁素体为白色块状，黑色为珠光体，铁素体比例约占20%，晶粒度为8级。母材Q345D侧热影响区组织分布不均匀，其中粗晶区组织为贝氏体+铁素体，晶粒度为6级；热影响区细晶区组织为珠光体+铁素体，晶粒非常细小，晶粒度达到10级。由图4~图6可知，母材42CrMo室温组织为回火索氏体+贝氏体，晶粒度为7级。42CrMo侧热影响区组织分布不均匀，其中粗晶区组织为回火索氏体+贝氏体，晶粒度达到5级，细晶区组织为回火索氏体+贝氏体，晶粒度达到10级。由图7~图8可知，焊缝组织为索氏体+铁素体。焊缝、热影响区未出现马氏体、魏氏体等异常组织，热影响

表3 力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率（%）	-20℃冲击吸收能量/J
≥400	≥480	≥22	≥27

表4 焊接参数

焊道	焊接方法	填充金属		极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min^{-1}	焊接接头
		型号	直径/mm					
所有层	FCAW	E501T—1	1.2	DCEP	220~270	28~33	220~400	
所有层	FCAW	E501T—1	1.2	DCEP	220~270	28~33	220~400	

注：反面碳弧气刨清根和打磨至密实金属。

表5 拉伸试验结果

试样编号	宽度/mm	厚度/mm	面积/mm^2	极限载荷/MPa	抗拉强度/MPa	断裂位置	结果
1	21	39.90	837.9	450	537	母材（Q345D）	合格
2	20.90	39.40	823.46	440	534	母材（Q345D）	合格

表6 弯曲试验结果

试样号	弯曲类型	结果	备 注
3~6	侧弯	合格	压头半径R=19mm，弯曲角180°

表7 冲击试验

试样编号	位置	试样尺寸/mm	试验温度/℃	冲击吸收能量/J	平均值/J
7	焊缝	10×10×55	-20	89	79
8		10×10×55	-20	96	
9		10×10×55	-20	54	
10	热影响区（42CrMo侧）	10×10×55	20	142	130
11		10×10×55	20	132	
12		10×10×55	20	118	
13	热影响区（Q345D侧）	10×10×55	-20	44	64
14		10×10×55	-20	42	
15		10×10×55	-20	108	

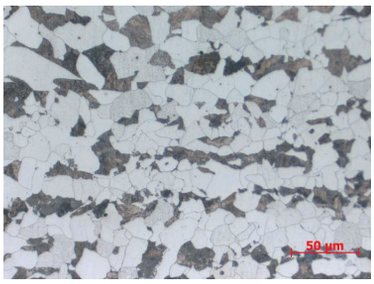


图1 母材Q345D 500×

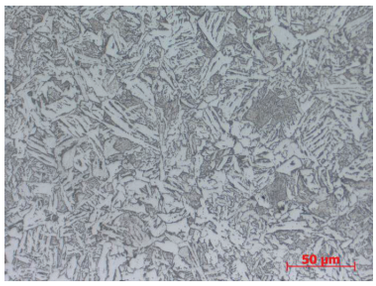


图2 热影响区（Q345D侧粗晶区）500×

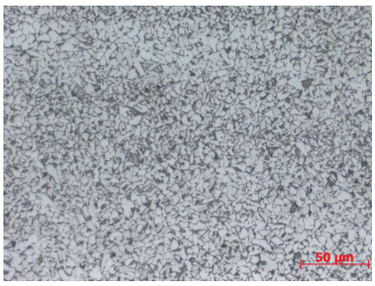


图3 热影响区（Q345D侧细晶区）500×

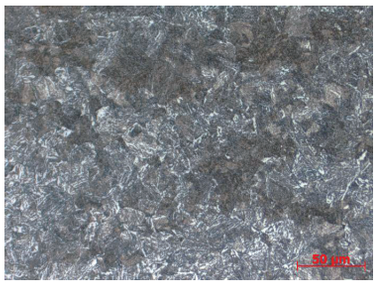


图4 母材42CrMo 500×

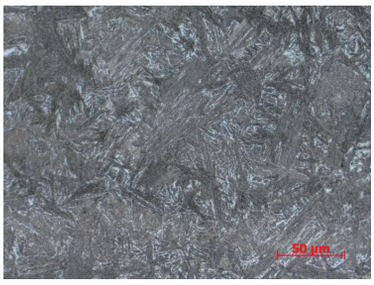


图5 热影响区（42CrMo侧细晶区） 500×

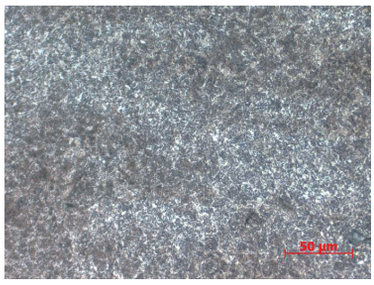


图6 热影响区（42CrMo侧粗晶区）500×

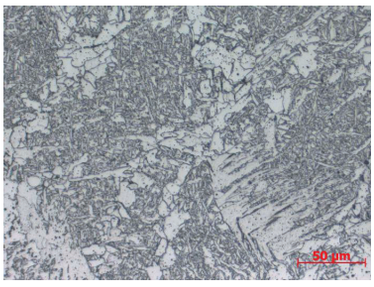


图7 焊缝 500×

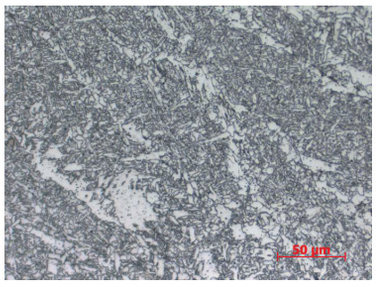


图8 焊缝 500×

区组织分布不均匀，是由于热影响区本身的特性所决定的，属正常组织。

5. 结语

（1）采用半自动药芯焊丝CO_2气体保护焊焊接中碳调质钢42CrMo与低合金高强钢Q345D锻焊齿轮，通过选择焊接材料E501T—1，制定合理的焊接工艺，并严格控制热输入，获得了良好的焊接接头，MT、UT达到AWS D1.1标准要求。

（2）采用半自动药芯焊丝CO_2气体保护焊对中碳调质钢42CrMo与低合金高强钢Q345D锻焊齿轮焊接接头进行焊接工艺评定，其拉伸、弯曲、冲击试验均满足标准要求。

（3）通过对中碳调质钢42CrMo与低合金高强钢Q345D锻焊齿轮焊接接头焊缝区及热影响区分别进行金相组织分析，焊缝及热影响区均未出现马氏体、魏氏体等异常组织，焊接工艺及热输入合理。

参考文献：

[1] 袁玉杰. 大型锻焊齿轮的焊接工艺研究[J]. 一重技术，2002（2~3）：80-81.

[2] 杨怀林. ZG42CrMo大型铸钢轨道缺陷焊补工艺[J]. 特钢技术，2013（3）：40-41.

[3] 王宏正，等. 42CrMo合金钢齿轮的焊接[J]. 焊接，2001（11）：36-37.

作者简介：刘须收等，中信重工机械股份有限公司。

MW 20170408