火车锻造/焊接钩尾框焊接工艺的研究

南通市中等专业学校 （江苏 226007） 朱 斌

【摘要】 根据火车锻造/焊接钩尾框的锻造主体与连接板焊缝的厚度、要求和工件材料，通过理论分析和试验论证，确定了焊接方法和焊接工艺，选用焊丝，设计坡口，并在单面焊接成形试验的基础上完成双面焊接成形试验和方案论证。

随着铁路“客运提速、货运重载”，改进铁路机车车辆势在必行。目前，作为火车车箱之间的连接体之一的现行铸造钩尾框已不能满足火车运输的需要。通过论证，根据我国工业的实际发展水平，新研制的锻造/焊接钩尾框（如图 1 所示）是替代铸造钩尾框的有效办法。

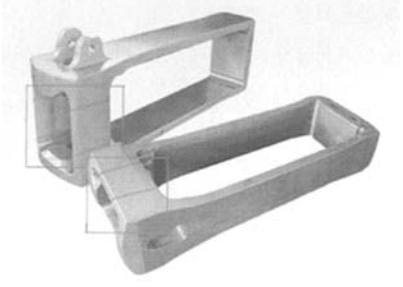


图 1 锻造/焊接钩尾框

锻造/焊接钩尾框的制造过程是将圆坯锻钢锻造成条后打弯形成工件主体，再将两块连接板与工件主体焊接后加工成形。所用的钢坯材料为 25MnCrNiMoA 钢，是一种低碳低合金高强度钢。

研究锻造/焊接钩尾框的焊接工艺应从低碳低合金高强度钢的焊接性能入手，研究焊接方法，选择焊丝，设计焊接坡口，进行焊接工艺试验并对方案进行分析和论证。

一、焊接工艺的研究依据

焊缝的厚度、要求以及工件材料的化学成分和力学性能是焊接工艺研究的依据。

1. 焊缝

图 1 分别为 13A 型和 17 型锻造/焊接钩尾框，工件上有 4 条焊缝，方框内的线条为焊缝所在位置，焊缝处工件最大厚度达 25mm。

2. 焊缝要求

工件焊接后，对成品的表面进行磁粉探伤，焊接接头内部进行超声波探伤。由于钩尾框承受很大动、静载荷或长时间作用的交变载荷，特别是在循环不对称的交变载荷作用下的焊缝，因焊缝损坏会引起重大安全事故，并造成极大损失，且该工件的使用寿命为 25 年，所以要求锻造/焊接钩尾框的焊缝必须达到 I 级。

3. 工件化学成分和力学性能

锻造/焊接钩尾框用钢坯材料为 25MnCrNiMoA 钢。25MnCrNiMoA 钢的化学成分和力学性能分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 25MnCrNiMoA 钢化学成分（质量分数） （%）

元素	C	Si	Mn	S
含量	0.24～0.28	0.20～0.40	1.2～1.5	≤0.025

元素	P	Cr	Ni	Mo	Cu
含量	≤0.025	0.4～0.6	0.35～0.55	0.2～0.3	≤0.2

表 2 25MnCrNiMoA 钢力学性能（调质处理后）

拉伸性能				冲击性能
规定非比例延伸长度 $R_{p0.2}$/N·mm^{-2}	抗拉强度 R_m/N·mm^{-2}	断后伸长率 A（%）	断面收缩率 Z（%）	冲击功 A_{kv}/J（试验温度 -40℃）
≥690	≥850	≥14	≥30	≥27

注：热处理淬火温度为 880～930℃，冷却剂为水；回火温度为（580±50）℃，冷却剂为水。

二、焊接工艺设计思想

通过对焊缝的厚度和要求的分析，针对锻造/焊接

钩尾框所用钢坯材料性能，选用适宜的焊接方法和焊接工艺。选用合适的焊丝，设计焊接坡口。

1. 焊接方法

锻钢钩尾框焊接后焊缝达到Ⅰ级焊缝标准。根据这一要求，低碳低合金高强度钢对焊接接头区强度和韧性要求较高，特别是对冲击韧度的要求高。这类钢对焊接热输入量、预热温度以及层间温度的控制更为严格，应采用较小焊接热输入量的多层多道焊工艺，最合适的焊接方法是气体保护焊，特别是富氩混合气体保护，比例为80% Ar + 20% CO_2。其优点为：提高熔滴向熔池过渡的稳定性；稳定阴极斑点，提高电弧燃烧稳定性；增大电弧的热功率；改善焊缝成形和外观；控制焊缝的冶金质量，减少焊接缺陷；降低焊接成本。

2. 焊丝的选用

（1）焊丝的要求　焊丝型号和成品的化学成分要求符合表3的规定；熔敷金属的力学性能应符合表4的规定。

表3　ER76—G焊丝的化学成分　（%）

C	Si	Mn	S
≤0.12	≤0.60	1.20～2.00	≤0.025
P	Cr	Ni	Mo
≤0.025	≤0.50	1.20～2.50	0.20～0.80

注：1. 为保证性能，可添加微量 Nb、V、Ti、B 等合金化元素，但合金元素的总量应≤0.22%。

2. ER76—G 为实芯焊丝，按 GB/T8110 方法命名。

表4　熔敷金属的力学性能

抗拉强度 R_m/N·mm^{-2}	规定比例延伸强度 $R_{p0.2}$/N·mm^{-2}	断裂伸长率 A（%）	-40℃冲击功 A_{kv}/J
≥760	≥600	≥20	≥60

（2）焊丝的选择　在纯惰性气体保护下进行焊接，冶金反应较单纯，合金元素基本没有烧损，但在氧化性混合气体保护下焊接，合金元素就会烧损，产生非金属夹杂物、气孔、裂纹以及力学性能下降等问题。在 Ar 中随着 CO_2 含量增加，其氧化性增强，因此应采用锰低硅的焊丝。

为达到上述要求，经过比较选用结构钢焊丝，焊丝牌号为 JS—70 和 JS—80，分别用这两种焊丝对于斜 Y 形坡口对接进行裂纹试验。考察 25MnCrNiMoA 钢焊接裂纹倾向，试验结果表明，在不预热的条件下用 JS—70 焊接的焊缝根部裂纹率≤20%，但采用 JS—80 焊接时，裂纹倾向明显减少。JS—80（相当于表 3 中的 ER—76—G）焊丝的特点：采用富氩混合气体保护，焊接电弧稳定、飞溅小，具有较好的抗低温冲击韧度。JS—80 焊丝适用于 790MPa 级高强度结构焊接，特别适用于温下的结构钢焊接，如工程机械、重型汽车等。因此选用 JS—80 焊丝，规格为 ϕ1.2mm。

3. 焊接工艺及参数

为了限制过大的焊接热输入量，低碳调质钢不但不宜采用大直径的焊条或焊丝焊接，还应尽量采用多层多道焊，最好采用窄焊道、小幅度横向摆动的运条技术。这样不仅使焊接热影响区和焊缝有较好的韧性，还可以减小焊接变形。为了防止焊接接头区过热脆化，焊接热输入量限制在 20kJ/cm。

为使焊缝与母材很好地融合，焊前对 25MnCrNiMoA 钢焊道两侧各 50mm 范围内进行预热，预热温度介于 180 ～ 300° C。焊后应进入温度为 (600 ± 15)°C 的炉内保温 2h，随炉冷却，冷却速度不低于 250°C/h。25MnCrNiMoA 钢采用多层多道焊，焊接参数见表 5。

表5　25MnCrNiMoA钢采用多层多道焊的焊接参数

焊接	焊丝直径/mm	保护气体	气体流量/L·min^{-1}	预热或层间温度/°C	工艺参数			
					电流/A	电压/V	焊速/cm·s^{-1}	热输入量/kJ·cm^{-1}
打底道	JS—80 ϕ1.2	80% Ar + 20% CO_2	20	300	≈220	≈22	≈600	≤17
中间道			25	≥100	≈260	≈25	≈450	≤20
盖面道			20		≈200	≈21	≈600	≤16

4. 坡口的设计与试验论证

根据工件焊缝的形式及厚度设计了初步的坡口形式为双面 V 形，如图 2 所示。用 ϕ1.2mm、牌号为 JS—80 的焊丝，进行锻造主体工件与连接板在 80% Ar + 20% CO_2 混合气体保护下的焊接试验，25MnCrNiMoA 钢焊缝金属和焊接接头的力学性能见表 6。焊缝金属面弯 180°未裂，板厚 25mm 和 40mm 的焊接接头面弯 180°均未裂。

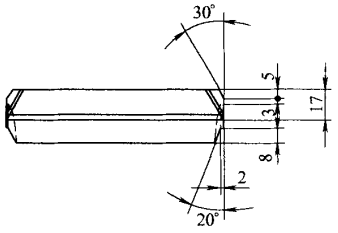


图 2　连接板坡口示意图

表 6　焊接试板焊后状态的试验平均值

状　态	焊接工艺	力学性能			冲击功 A_{KV}/J			
					焊缝		热影响区	
		R_e/MPa	R_e/MPa	A（%）	室温	-20°C	室温	-20°C
25MnCrNiMoA	—	485	690	20	—	—	—	—
焊缝金属	气保焊	620	730	21	141	82	—	—
焊接接头	气保焊	—	740	—	145	40	132	78

25MnCrNiMoA 钢焊缝组织均为针状铁素体 + 块状铁素体（有少量先共析铁素体）；焊接热影响区是下贝氏体 + 低碳板条马氏体。对焊缝及热影响区的冲击断口进行分析，发现焊缝和热影响区均为韧窝断口，具有良好的塑韧性。不同试验温度下对 25MnCrNiMoA 钢做了试验，焊缝金属的 V 形缺口冲击性能试验结果见图 3，气体保护焊条件下 25MnCrNiMoA 钢单道焊焊接接头的硬度分布见图 4，25MnCrNiMoA 钢气体保护多层多道焊焊接头的硬度分布见图 5。比较图 4 和图 5 可知，多层多道焊工艺明显优于单道焊工艺。

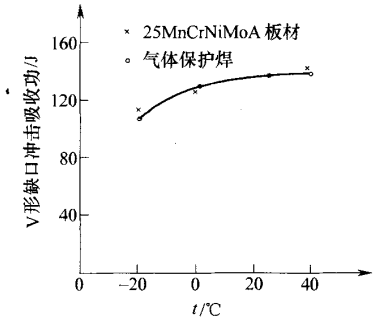


图 3　25MnCrNiMoA 钢焊缝冲击性能试验结果

因初步设计的坡口为双面 V 形，所以成形工艺则应采用正反两面焊接的双面焊接成形工艺，但若能保证焊逢质量，采用单面焊接成形可以减少双面焊接成形的操

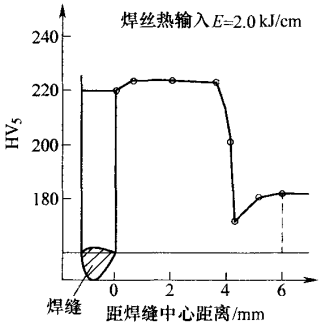


图 4　25MnCrNiMoA 钢单道焊焊接接头的硬度分布

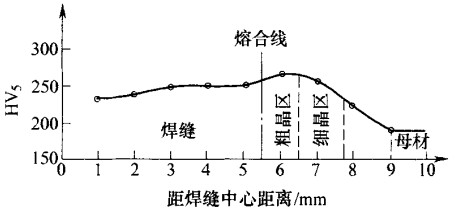


图 5　25MnCrNiMoA 钢多层多道焊焊接接头的硬度分布

作工序。究竟采用何种成形工艺，通过单面焊接成形试验和双面焊接成形试验进行论证。

三、单面焊接成形工艺

工件最大厚度达 25mm，每条焊缝如用单面多层焊接，此工艺方案的试验和分析如下。

1. 工艺试验

单面焊接成形工艺流程试验如图6所示。第一道打底摆动焊接用焊药作衬垫（220A、21V、600mm/min、摆幅3mm、摆动速度700mm/min、两边停留时间0.2s）；第二道（260A、25V、550mm/min、摆幅7mm、摆动速度750mm/min、两边停留时间0.2s）；第三道（260A、25V、550mm/min、摆幅7mm、摆动速度750mm/min、两边停留时间0.2s）；盖面焊道（200A、21V、550mm/min、摆幅10mm、摆动速度700mm/min、两边停留时间0.2s）。

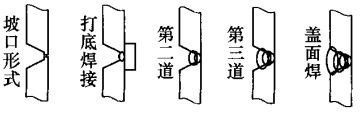


图6 单面焊接成形工艺流程
注：气体流量为20L/min，焊丝干伸长度为18mm，气体为80%Ar+20%CO_2

2. 工艺方案分析

采用单面焊接的焊缝有30%的焊接试板不合格，通过分析判断为焊缝的深度太深，焊枪的角度及位置受到限制，从而导致气体保护不好，焊缝偶然有气孔产生。本焊接形式不利于控制，不选用。

四、双面焊接成形工艺

双面焊接成形即每条焊缝正反两面多层焊接，此成形工艺也进行了两种试验。

1. 初步工艺方案的试验和分析论证

初步采用不摆动的焊接，通过以下的8个步骤（如图7所示）：①打底焊接（200A、21V、750mm/min）。②盖面焊（240A、23V、600mm/min）。③手工清根（要求手工打磨至肉眼观察不到未融合的线条）。④外缝一道（260A、25V、650mm/min）。⑤外缝二道（260A、25V、650mm/min）。⑥外缝三道（260A、25V、650mm/min）。⑦外缝四道（220A、21V、550mm/min）。⑧外缝盖面（220A、21V、550mm/min）。

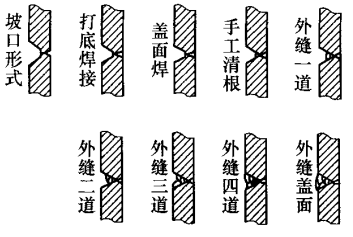


图7 双面焊接成形工艺流程
注：气体流量为20L/min，焊丝干伸长为18mm，气体为80%Ar+20%CO_2

通过焊接后的拍片，结果有80%的工件试板不合格，主要原因是焊缝与母材间未融合。经过分析发现，产生这种问题的原因为焊枪在焊缝中间焊接时偏置程度不够，熔池至凹处的母材上导致假融合。

2. 改进工艺方案的试验和分析论证

改进方案是采用摆动焊接，并且在两边与母材交接处焊枪停留0.2s，使焊丝与母材充分融合。通过6个步骤：①打底焊接（200A、21V、750mm/min、摆幅3mm、摆动速度800mm/min、两边停留时间0.2s）。②盖面焊（240A、23V、650mm/min、摆幅7mm、摆动速度700mm/min、两边停留时间0.2s）。③手工清根（要求手工打磨至肉眼观察不到未融合的线条）。④外缝一道（260A、25V、650mm/min、摆幅4mm、摆动速度800mm/min、两边停留时间0.2s）。⑤外缝两道（260A、25V、650mm/min、摆幅7mm、摆动速度800mm/min、两边停留时间0.2s）。⑥外缝盖面（220A、21V、550mm/min、摆幅10mm、摆动速度750mm/min、两边停留时间0.2s）。气体流量为20L/min，焊丝干伸长度为18mm，气体为80%Ar+20%CO_2。

通过焊接后的拍片，结果有95%的工件试板合格。通过对拍片结果的分析，不合格原因为手工清根不容易观察判断，没有清根到位。

综上所述，锻造/焊接钩尾框的焊接工艺应为摆动的多层多道焊、双面成形工艺，焊接方法为80%Ar+20%CO_2气体保护焊，用ϕ1.2mm的JS—80焊丝，焊接坡口为双面V形。热 （20070917）

武汉智慧建功“嫦娥奔月”

中华民族千年“探月”之梦即将成真，包括华工科技在内的武汉部分企业，在”嫦娥工程”中打下了武汉烙印。

武汉华工激光公司生产的高精密激光焊接机，在贵州某军工企业专门为嫦娥飞船焊接短电容器件，这种短电容器件用于嫦娥发射装置及飞船内部仪器。公司的激光焊接机还有望用于登月载人宇航服的激光裁剪、焊接，使之适应外太空高气密、耐高压环境要求。

武汉楚天激光公司的技术装备还用于嫦娥飞船的红外遥感装置壳体焊接。武汉海创电子公司的频率元器件石英谐振器和敏感元器件热敏电阻器也在嫦娥工程中发挥了重要作用。