A335 P9 铬钼钢管的焊接技术及质量控制

中国石油天然气第七建设公司 （山东胶州 266300） 李晓松 刘 锋 孙志超

A335 P9 是采用美国标准生产的高温用铬钼合金耐热钢，因其具有良好的抗氧化性、高温强度和抗硫化物腐蚀性能，广泛应用于石油炼化装置高温、高压、易燃、易爆的管道，尤其是加热炉直接受热管，介质温度可达 550～600℃。但因其 Cr、Mo 等合金含量较高，淬硬倾向和冷裂倾向较大，在不进行焊前预热、焊后热处理的条件下，焊缝的金相组织为马氏体，容易产生冷裂纹。因此在炼化工程施工时，A335 P9 焊接是工程施工中的重中之重，对任何施工单位来说都是焊接工程质量的控制重点。

1. A335 P9 铬钼钢焊接性分析

A335 P9 铬钼钢的化学成分如表 1 所示。根据该材料的特性，在焊缝区扩散氢与焊接残余应力的共同作用下，在焊缝金属及热影响区极容易产生冷裂纹。冷裂纹就是 A335 P9 铬钼耐热钢焊接的重点防范对象。

表 1 A335 P9 铬钼钢的化学成分（质量分数）（%）

C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo
0.08～0.12	≤0.60	0.25～1.00	≤0.030	≤0.030	8.00～10.00	0.90～1.10

2. A335 P9 铬钼钢焊接技术和质量控制措施

（1）焊接方法 A335 P9 铬钼耐热钢由于淬硬和裂纹倾向较高，在选择焊接方法时，应优先采用低氢的焊接方法，如钨极氩弧焊和熔化极气体保护焊等。由于现场施工条件限制，一般采用钨极氩弧焊打底＋焊条电弧焊填充盖面的方法焊接。氩弧焊打底焊接时管内充氩保护，采用焊条电弧焊时，必须采用低氢碱性药皮焊条。

（2）焊接材料 为保证焊接接头具有与母材相当的高温蠕变强度和抗氧化性的前提下改善其焊接性，焊缝必须含有与母材相当的铬和钼。对此，氩弧焊焊丝一般使用 ER80S—B8，焊条采用 E8015—B8。

另外，应建立严格的保管、烘干、发放和回收制度，使焊材从入库到回收均能全过程追踪。焊条必须严格按要求进行烘干，领用焊条时必须使用保温筒，同一保温筒内不允许同时装有两种及以上的焊条，防止错用。

（3）焊接工艺评定 产品施焊前必须严格进行焊接工艺评定。焊接过程中记录所有焊接数据（电流、电压、极性、焊接速度）以及焊接材料的型号和直径、惰性气体流量（保护气和背面保护气）、焊接设备的型号、钨极直径、喷嘴内径等各项相关内容。产品焊接前，按评定合格的工艺制定焊接作业指导书，用于指导现场焊接施工。

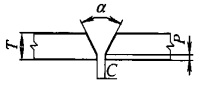
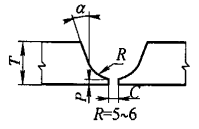
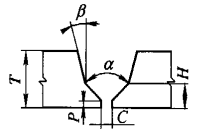
（4）焊接人员要求 焊接 A335 P9 钢的焊工应具有相应的资质，且必须有丰富的经验、良好的施工操作技能，并熟悉铬钼钢焊接性和焊接质量控制要点。

（5）焊接坡口的制备 A335 P9 管道坡口应采用机械方法或等离子切割方法加工。常用坡口形式和尺寸如表 2 所示。

采用等离子方法加工时，坡口表面必须清除熔渣、氧化皮，打磨清除影响焊接质量的淬硬层。坡口加工后，应进行外观检查，其表面不得有裂纹、分层、夹渣等缺陷。坡口表面应按要求进行无损检测，检测范围为坡口端部以内 20mm。

（6）组对与定位焊接 焊接接头组对前，将坡口及其边缘内外表面≥20mm 范围内的油漆、毛刺、锈斑、氧化皮及其他对焊接过程有害的物质清除干净。焊接接头组对前，应确认坡口加工形式、尺寸，其表面不得有裂纹、夹层等缺陷。

表2 常用坡口形式和尺寸

坡口名称	坡口形式	厚度 T /mm	深度 H /mm	间隙 C /mm	钝边 P /mm	坡口角度（°）	
						α	β
对接 Y 形坡口		3～9	—	0～2	0～2	55～65	—
		9～26	—	0～3	0～3	55～65	—
对接 U 形坡口		20～60	—	0～3	1～3	—	8～12
对接 VY 形坡口		20～60	8～12	0～3	1～3	55～65	8～12

壁厚相同的管子或管件对接焊缝组对时内壁应齐平，内壁错边量不宜超过管壁厚度的10%。SHA级工艺管道的错边量≤0.5mm，SHB、SHC及SHD级管道的错边量≤1mm。当炉管外径≤102mm时，错边量≤0.5mm；炉管外径大于102mm时，错边量≤1mm。其他管道的错边量≤2mm。

定位焊的焊接工艺与正式焊的焊接工艺相同，由正式焊工焊接。定位焊的预热温度取上限。定位焊缝的长度宜为10～20mm，高度为2～4mm。定位焊缝应沿管周均匀分布。正式焊接时，起焊点应在两定位焊缝之间。定位焊缝应焊透且无裂纹等焊接缺陷，发现裂纹、未焊透等焊接缺陷时必须清除后重焊。为确保底层焊道成形好，减少应力集中，定位焊缝的两端应为缓坡状，否则应进行打磨修整。

（7）焊前预热 A335 P9钢焊接时，预热是不可缺少的重要工序，是防止裂纹、降低接头各区硬度和焊接应力的重要措施。

预热采用电加热法，无条件时也可采用火焰加热法，火焰加热时火焰不应直接触及焊道坡口。预热温度为250～350℃，当焊接环境温度小于0℃时预热温度取上限。预热应在坡口两侧均匀进行，预热升温应缓慢而均匀，防止局部过热。预热温度可用红外线测温仪或触点式温度计进行测量，测温点应均匀分布。

预热范围以对口中心线为基准两侧各不小于3倍壁厚，且不小于100mm，加热区以外的100mm范围内应予以保温，以减小温度梯度。焊件达到预热温度后立即进行底层焊道的焊接。

（8）焊接工艺要求 氩弧焊打底可采用两层打底焊接，防止打底焊缝被第一层焊条电弧焊填充焊时烧穿，并降低根部焊缝氧化程度。若GTAW打底焊只一层，打底焊层的厚度应≥3mm。底层焊道要求焊透、成形好。

打底焊接时管内部充氩保护。充氩可采用整体充氩和局部充氩。局部充氩为对口间隙两侧一定范围内封堵，采用端部压扁的细钢管插入坡口间隙内进行充氩气。整个坡口间隙可采用矿渣棉进行堵实，焊接一段拨开一段，逐段进行焊接。

底层焊道完成后一般应立即进行下一层焊道的焊接，且应在保持预热温度的条件下，每条焊缝一次连续焊完，如中断焊接，应立即进行300～350℃，15～30min的后热处理，然后保温缓冷至室温。再行焊接前应进行检查，确认无裂纹等缺陷后方可按原焊接工艺规程继续进行焊接。

多层焊时层间温度应不低于预热温度，每层的焊缝接头处应错开。每层焊道焊接后应用磨光机或钢丝刷彻底清除焊渣及飞溅，特别要注意接头及坡口边缘。

为了防止合金元素的氧化烧损，应适当选用小电流、短弧操作。热输入的大小是左右坑裂性和力学性能的重要因素，施焊时应予注意。控制焊接热输入的范围，适当减薄每层焊缝的厚度。

另外，要注意弧坑裂纹的产生。弧坑裂纹是导致整个焊接工作失败的主要原因，因此在收弧处要用快速的点弧焊手法填满弧坑，以避免弧坑裂纹的产生。

坡口焊完后，应立即进行 300～350℃、15～30min 的后热处理，然后保温缓冷至室温。加热方法采用电加热法进行。先进行无损检测后进行热处理的焊道，在无损检测合格后及时进行焊后热处理。

焊接时应在坡口内引弧，严禁在非焊接部位引弧。铬钼钢炉管及管件表面不得有电弧擦伤等缺陷。

（9）焊缝检验　首先，焊缝外观要求：焊接完毕后，应及时将焊缝表面的熔渣及附近的飞溅清理干净，自检合格后进行焊缝标识。焊缝外形尺寸应符合设计文件的要求，焊缝与母材应圆滑过渡。焊缝和热影响区表面不应有裂纹、气孔、咬边等缺陷。焊缝的余高是造成焊接接头应力集中的原因之一，因此应加以限制，一般余高≤3mm。

其次，无损检测：A335 P9 对接焊缝应进行 100% 射线检测。承插和焊接支管的焊接接头及其他角焊缝应采用磁粉或渗透方法检查焊缝质量。

焊后热处理完成后，应对热处理坡口作 100% 超声检测及渗透或磁粉检测，以无裂纹为合格。

（10）焊缝返修　无损检测不合格的焊缝必须进行返修。同一部位的返修次数（指焊补的填充金属重叠的部位）不宜超过两次，否则应重新制定返修措施。返修须经单位技术总负责人批准后方可进行，将焊缝返修次数、部位和无损检测等结果记入焊缝返修记录。返修后的焊缝应重新进行检验，其质量要求与原焊缝相同。

（11）焊后热处理　焊后热处理有利于改善焊缝金属及其热影响区的组织，降低接头各区的硬度，提高其韧性、变形能力和高温持久强度，并消除内应力。

任意厚度的 A335 P9 钢管道焊缝焊接完成后均应进行焊后热处理。热处理前应将管道加热区表面清理干净，彻底清除油脂等杂质。焊后热处理应采用电加热法，在热处理过程中应能准确地控制热处理温度，且使焊件温度分布均匀。

热处理的加热范围以焊缝中心为基准，两侧各≥3 倍的焊缝宽度且≥25mm 的区域，加热区以外的 100mm 范围应予保温，且管道端口应封闭。

焊后热处理应按确定的热处理参数严格的控制升温、恒温和降温过程。常用焊后热处理参数如表 3 所示。

表 3　焊后热处理参数

参　数	内　容
升温速度	升温过程中对 300℃以下可不控制 升温至 300℃后，升温速度按 5125/δ℃/h 计算，且≤205℃/h
热处理温度	750～780℃
恒温时间	3min/mm
冷却速度	恒温后的冷却速度按 6500/δ℃/h 计算，且≤260℃/h 300℃以下自然冷却

注：①δ 为管子壁厚。②炉管焊缝的焊后热处理恒温时间≥1h。工艺管线焊缝的焊后热处理恒温时间≥30min。

热处理温度采用热电偶进行测量，按热处理参数合理选用热电偶。热电偶使用前应经检定合格，并在有效期内。采用自动测温记录仪在整个热处理过程中连续测量记录热处理温度。

在热处理自动记录曲线上注明热处理作业时间，由各责任人签名确认，并由项目热处理责任工程师确认热处理自动记录曲线符合工艺要求，填发热处理报告。热处理自动记录曲线及热处理报告应记入竣工资料。

热处理后在焊缝、热影响区及其附近母材分别抽检表面硬度，抽检数量应不少于热处理坡口总量的 20%，所测硬度值应符合：炉管≤241HBW；其他管道≤300HBW。若硬度值超过规定，则应加强检查。

3. 结语

A335 P9 钢焊接性差，焊接工艺复杂，焊接质量要求高，先进合理的焊接工艺及严格的过程质量控制是获得优质焊接的保证。

在进行 A335 P9 钢管接头焊接时，只有在预热、焊后热处理等关键环节上加以严格的控制，才能确保焊接质量，满足产品使用要求。**MW**

（20110415）