

带极自动堆焊技术与生产应用

樊志勤　陈清阳　赵钰　杨晓冬　苏东波　杨国华
梁雁斌　赵凯　张创晋　王海瑞　宋剑

【摘要】阐述了带极自动堆焊的堆焊原理、技术特点及磁控装置应用，详细介绍了带极自动堆焊工艺方法、焊带及焊剂的分类情况，分别对带极埋弧与电渣堆焊方法的特点进行了系统对比分析，最后提出了两种带极自动堆焊工艺方法的操作要点及堆焊工艺参数，并用于指导实际生产。

关键词：带极埋弧焊；电渣堆焊；生产应用

1. 带极自动堆焊简介

高效、方便、堆焊质量优良是带极自动堆焊的主要特点。从带极自动堆焊方法的堆焊过程来讲，一般可分为带极埋弧堆焊法（SAW法）和带极电渣堆焊法（ESW法），如图1所示。

带极埋弧堆焊时，由电弧将焊带、焊剂及局部母材熔化，随后冷却形成堆焊焊道及渣壳；而带极电渣堆焊时，这一热量来自电流通过熔融渣池时所产生的电阻热。堆焊操作时，带极埋弧堆焊在焊带前后都撒焊剂，熔化和凝固过程全部在焊剂下进行，而带极电渣堆焊因焊带直接插在渣池之中，只在焊带前方铺撒焊剂，后方不撒焊剂，让熔融渣池暴露于空气之中。因此两种带极堆焊方法有本质的区别。

带极埋弧堆焊和带极电渣堆焊的特点如表1所示。

2.焊接装备系统的选配

带极自动堆焊工艺方法是重型容器及大型压机等产品的关键制造技术之一，是企业承接电站锅炉、石化重型容器中的气化炉、甲醇合成塔、加氢反应器、核电及大型压机等设备产品生产制造必不可少的生产手段。为了确保带极自动堆焊的焊缝质量，保证带极自动堆焊过程的稳定性与可靠性，带极自动堆焊装备系统的选配至关重要。

带极自动堆焊工艺方法往往与重型容器的环缝焊接共用一套焊接电源、控制系统、操作机及变位机。以前我国重型容器及大型压机焊接装备系统一直依赖于进口，如瑞典伊萨公司和美国浪神公司等企业。近年来，随着我国新材料、新工艺、新技术的快速发展，国内焊接装备制造企业通过引进消化吸收国外先进技术，实现了焊接装备系统制造的国产化，涌现出一批设计理念新颖，制造工艺先进的焊接装备系统制造企业，如成都焊研威达科

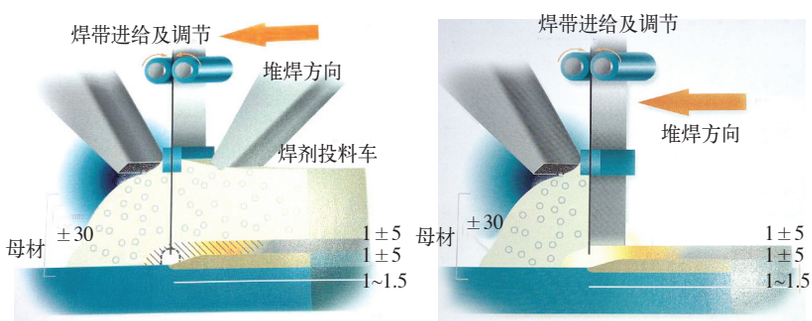


图1　带极电渣堆焊法（ESW法）和带极埋弧堆焊法（SAW法）

技股份有限公司，唐山开元特种焊接设备有限公司等企业。进而推动了我国焊接装备系统的制造技术水平。逐渐形成了我国核电行业以瑞典伊萨公司焊接装备系统为主，重型容器和大型压机领域成都焊研威达科技股份有限公司市场占有率为90%的新格局。

如我公司用于核电产品带极自动堆焊装备系统使用伊萨公司的RM6080十字架式重型焊接操作机，选用200t可调式防串（防串精度±3mm）滚轮架，采用伊萨LAF1601（平特性）直流电源，配置两套伊萨A6S焊接机头，分别悬挂于焊接十字操作机横臂两端，一端完成筒体内壁堆焊，另一端则完成封头堆焊，它适用于焊带宽度为30~100mm和焊带厚度0.4~0.5mm的带极自动堆焊。在重型容器和大型压机产品带极自动堆焊中，使用成都焊研威达科技股份有限公司的CZ20—6×8十字架式重型焊接操作机，配备159t可调式防串（防串精度≤1.5mm）滚轮架和40t焊接变位机，采用美国林肯电气公司DC—1500（平特性）直流电源，配置林肯NA—3等速送带机构和比利时苏多凯带极堆焊原装机头，可保证焊带宽度为30~90mm，厚度为0.4~0.5mm焊带的带极自动堆焊。

3. 带极堆焊焊带

（1）世界各国常用焊带的规格　对于焊带的规格，世界上各国使用的习惯不同。欧美均采用30mm×0.5mm、60mm×0.5mm、90mm×0.5mm等系列焊带，而日本则采用25mm×0.4mm、37.5mm×0.4mm、50mm×0.4mm、75mm×0.4mm等规格的焊带，我国常用焊带的规格包括：40mm×0.4mm、50mm×0.4mm、60mm×0.5mm等系列焊带。一般焊带宽度＜50mm的称为窄带极，宽度＞50mm的称为宽带极。

（2）焊带的分类　我国焊带一般执行GB/T29713—2013《不锈钢焊丝和焊带》技术标准，带极堆焊焊带的分类如图2所示。在我国生产焊带原材料的钢厂较多，其中质量稳定、有一定规模的企业有太原钢铁集团公司和上海宝钢集团公司精密钢带厂等，它们生产的焊带原材料质量已达到或超过世界先进水平。虽然目前国内焊带生产企业已超过100家，但主要产品为300系列奥氏

表1　带极埋弧堆焊和带极电渣堆焊的特点

特点	带极埋弧堆焊	带极电渣堆焊
堆焊电弧（紫外线）	有	无
磁控装置	无（焊带宽度＜60mm）	有
母材稀释率	生产上可控制在15%~20%	生产上可控制在10%~15%
熔敷效率/kg·h^{-1}	14	22
母材熔深/mm	熔深大	熔深小（＜1）
堆焊层表面质量/mm	表面不平度＞1	表面不平度＜0.5
熔池情况	封闭的焊缝熔池	敞开的焊缝熔池
电流密度	较高	高
堆焊层数	适用于堆焊两层	适用于堆焊一层
堆焊金属中杂质元素（O、S、P等）及气孔	杂质含量高，气体不易逸出	杂质含量低，气体容易逸出
焊剂、焊带消耗比	约0.8	约0.7
在0.18%碳钢上堆焊一层的熔敷金属的碳含量（%）	0.045	0.03

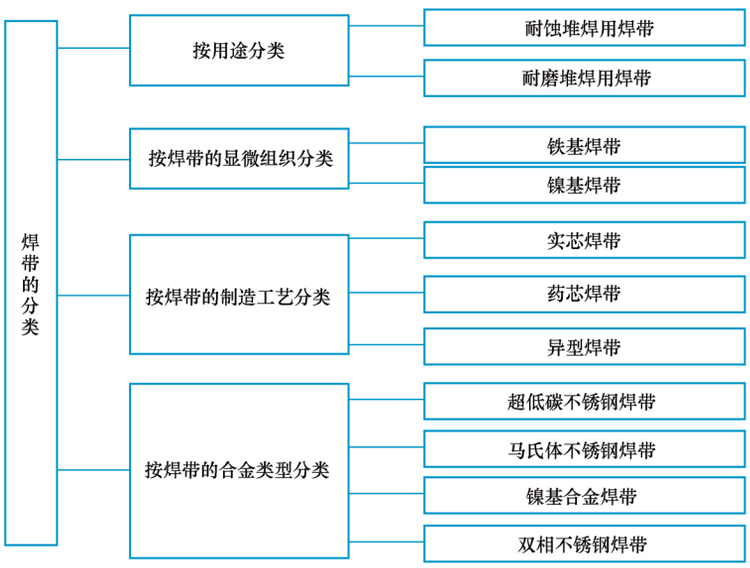


图2　焊带分类

体超低碳不锈钢焊带，大部分企业只生产焊带，不生产与之配套的焊剂。哈尔滨威尔公司和安泰科技公司不仅生产的焊带品种全，质量高，而且还为用户提供与之配套的焊剂，这两家焊带生产企业在焊带的生产制造及焊剂配套研制方面处于国内领先地位。

在生产应用中，常按焊带的合金类型分类：超低碳不锈钢焊带如哈尔滨威尔公司的H308L、H309L、H347L等；安泰科技公司的AT—D308L、AT—D309L、AT—D316L等；特殊不锈钢焊带如哈尔滨威尔公司的H904L等，安泰科技公司的AT—D385等；马氏体不锈钢焊带如哈尔滨威尔公司的H13Cr，安泰科技公司的AT—D410，AT—D430等镍基合金焊带如哈尔滨威尔公司的H625，安泰科技公司的AT—DNi625等。双相不锈钢焊带如哈尔滨威尔公司的H2205、H2209等，安泰科技公司的AT—D2209等。

（3）焊剂的分类　带极自动堆焊一般都要求配置烧结焊剂，分为电弧型烧结焊剂和电渣型烧结焊剂两种，用户可根据带极自动堆焊工艺方法进行选用，一种焊带配置相应的一种焊剂，禁止互换使用。由于焊剂的配方是根据焊带的化学成分研制的，因此，我们在实际生产中规定，严禁两个生产厂家的焊带或焊剂互换使用，否则将严重影响堆焊层的质量，这应引起我们的足够重视。

4. 带极自动堆焊方法操作要点

根据我们对国内外相关带极堆焊技术资料整理分析，结合多年来的试验研究与实际生产应用，简要提出如下带极自动堆焊工艺方法操作要点。

第一，带极电渣堆焊所用设备与带极埋弧堆焊基本相同，常见的国外设备有瑞典伊萨公司的RM6080十字架式重型焊接操作机,配备伊萨LAF1601型弧焊整流器。国内大多使用成都焊研威达科技股份有限公司的CZ20—6×6十字架式重型焊接操作机，配置美国林肯Lincoln DC—1500型恒压平特性直流电源。

第二，带极电渣堆焊与带极埋弧堆焊均采用直流反接（DCEP）的电流极性。如采用直流正接（DCEN）会使堆焊层加厚，熔深变浅，容易在焊道搭接处产生缺陷，同时增大焊接飞溅。

第三，在实际生产应用中，国内常用的焊带规格为40mm×0.4mm、50mm×0.5mm、60mm×0.5mm，而60mm×0.5mm的焊带用的相对较多。

第四，一般带极埋弧堆焊时不需要加磁控装置，但当焊带宽度＞60mm时，也推荐加磁控装置。带极电渣堆焊时，常推荐加磁控装置，可有效改善堆焊焊丝与母材的润湿角，并防止焊缝咬边现象发生。有的企业操作人员误认为磁控装置操作繁琐，作用不大，在实际操作中，不使用磁控装置或干脆把它拆掉，致使堆焊焊缝质量严重下降。

第五，带极堆焊必须使用专用堆焊型焊剂。如：带极电渣堆焊中H904L焊带配ST82B焊剂；Inconel 625镍基合金焊带，配比ST82B焊剂。通过大量试验表明，带极埋弧或电渣堆焊必须用同一生产厂家的焊带和焊剂，严禁二个生产厂家的焊带或焊剂互换使用。

第六，带极电渣堆焊起焊是电弧过程。起焊前在焊带前后均撒上焊剂，接通电源后，电弧热将焊带焊剂熔化，在焊带后方逐渐形成熔融渣池，电弧消失，焊带直接插入渣池之中。

第七，带极电渣堆焊采用高电压起焊技术。对于某些堆焊设备，在进行电渣堆焊时，起焊可能会出现粘带现象而无法顺利施焊。此时，只要采用高于正常值5V的电压起焊，并随着熔融渣池的建立，逐渐将电压降至正常值即可保证正常施焊。

第八，带极电渣堆焊稳定施焊为电渣过程。一旦电源接通开始堆焊，就只能在焊带前方铺撒焊剂，后方不得铺撒焊剂，保证熔融渣池暴露于空气之中。

第九，带极埋弧和电渣堆焊参数的选择，应以满足焊道厚度要求，保证焊道熔合良好，成形美观并控制一定的稀释率为原则。

第十，要注意在堆焊前，必须将堆焊表面的氧化皮清理干净，避免出现未熔合等缺陷。在堆焊时，若发现焊缝的润湿角太陡，要求打磨后再进行焊接。堆焊过程中，若发现弧坑裂纹等缺陷，应将裂纹清除后，再进行堆焊。

第十一，当工件要求堆焊一层耐蚀层时，在保证焊道成形良好的前提下，适当增加耐蚀层的厚度，以提高耐蚀效果。一般

耐蚀层厚度推荐为3.5~4.0mm，当耐蚀层厚度＞5mm时，易产生焊缝夹渣或焊瘤。当工件要求堆焊两层时，过渡层厚度应在3~3.5mm比较合理。

第十二，焊道的搭接量对堆焊焊缝内部与外观质量至关重要，带极埋弧堆焊的焊道搭接量为5~7mm，带极电渣堆焊常规推荐焊道搭接量为7~10mm；通常带极埋弧堆焊的电弧电压为28~30V，而带极电渣堆焊的电弧电压要比带极埋弧堆焊低，一般要求在25~27V比较合适；带极电渣堆焊时，焊带伸长量控制在35~40mm，这与带极埋弧堆焊相同；带极埋弧堆焊的焊接速度为每分钟170~200mm，带极电渣堆焊的焊接速度比带极埋弧堆焊低，一般控制在每分钟150~170mm；在带极堆焊前，焊剂需经350℃×2h烘干，焊道层间温度≤250℃。

5. 带极堆焊磁控装置

（1）电磁场对堆焊熔池的影响　由电磁原理可知，当两根平行的导线中通过相同方向电流时，导线会相互吸引，而带极堆焊中的焊带可做为许多根同向电流的导线，显然他们也会有相互吸引的倾向。在大电流通过焊带（60mm带宽或更宽）的电渣带极堆焊过程中，这个电磁影响将非常明显，即堆焊过程中的熔池会承受到电磁力（劳伦力），使熔池倾向于从两边向中间流动，直接导致焊道变窄及更陡峭的焊道边角，不仅使脱渣更困难，而且提升了焊道咬边的风险。

（2）磁控基本工作原理　为减少行进中熔池电流产生的电磁力影响，需要采用磁控装置，其工作原理为安装磁性相同但方向相反的外部磁场，在堆焊进行过程中，外部磁场所产生的电磁力与内部自身产生的电磁力相抵消。外部磁场由两个磁芯棒（线圈）产生，一般称为“N”极与“S”极。

（3）磁控装置的调节　一般可通过观察焊道成形的波纹形状来调节磁控装置的磁场强度，当波纹变得对称，即表示使用了合理的磁场强度。标准的磁控装置允许两个磁芯棒最大5A的电流，通常情况下，将北极工作电流初始位置为3.5A，南极工作电流初始位置为3.0A来开始调试。通常北极的电流应比南极高0.5~1A。

6. 带极堆焊焊接工艺及生产应用

带极自动堆焊技术在我公司的焊接生产中得到普遍应用，已成为公司焊接生产常用的焊接工艺方法之一。下面介绍带极自动堆焊技术在实际生产中的应用情况。

在实际生产中，我们采用的带极埋弧焊与电渣堆焊焊接参数如表2所示。

根据我们多年来对带极自动堆焊技术的研究及生产应用，总结出带极自动堆焊工艺方法的选用原则。当堆焊层厚度要求机加工后在直径方向上单边厚度＜3mm时，推荐选用带极电渣自动堆焊工艺方法；当堆焊层厚度要求机加工后在直径方向上单边厚度＞3mm时，一般采用带极埋弧堆焊工艺方法。

（1）BGL碎煤加压液态排渣气化炉　BGL气化炉为三类压力容器，其内壳材料为Q245R，炉体内介质包括蒸气、水、煤、煤气、氧气等，有很强的腐蚀性，因此生产上要求在气化炉壳体内壁，采用带极电渣堆焊一层Inconel625镍基合金耐蚀层，配置SJ82B电渣型烧结焊剂，以确保炉体内壁的耐腐蚀性能。

（2）BGL碎煤加压液态排渣气化炉激冷室　BGL气化炉激冷室为二类压力容器，室内壁材质为13MnNiMoR，工作温度60℃，工作压力4.6MPa，室内介质有水和渣，采用带极电渣堆焊方法，在激冷室内壁堆焊一层H904L（60mm×0.5mm）特殊不锈钢合金耐蚀层，焊剂使用SJ82B电渣型烧结焊剂

（3）德士古气化炉　德士古气化炉主壳体材质为SA—

表2　带极埋弧与电渣堆焊推荐焊接参数

堆焊材料组合	堆焊电流/A	堆焊电压/V	堆焊速度/mm·min^{-1}	带极伸长量/mm	焊道搭接量/mm	焊道高度/mm	过渡层焊道高度/mm	耐蚀层焊道高度/mm	焊剂厚度/mm
电弧型烧结焊剂+焊带60mm×0.5mm	820~880	28~30	170~200	35~40	5.0~7.0	6.5~7.5	3~3.5	3.5~4.0	—
电渣型烧结焊剂+焊带60mm×0.5mm	820~880	25~27	150~170	35~40	8.0~10.0	3.5~4.0	—	3.5~4.0	20~30

38TCr11CL2，为保证主壳体的耐腐蚀性能，在实际生产中常对主壳体内壁进行带极埋弧堆焊，一般过渡层选用H309L（60mm×0.5mm）超低碳不锈钢焊带，焊剂型号为SJ304电弧型烧结焊剂。耐蚀层选用H308L（50mm×0.5mm）或H316L（60mm×0.5mm）超低碳不锈钢焊带。焊剂牌号分别为SJ303和SJ316电弧型烧结焊剂。

（4）变换炉　变换炉主壳体材质为14Cr1MoR，属于三类压力容器，工作温度450℃，工作压力3.8MPa，炉体内介质为焦炉气变换气，为提高炉体内壁的耐腐蚀性能，需进行带极埋弧堆焊，过渡层为H309L（60mm×0.5mm）超低碳不锈钢焊带，焊剂为SJ304电弧型烧结焊剂。耐蚀层为H347L（60mm×0.5mm）超低碳不锈钢焊带，并配置SJ305电弧型烧结焊剂。

（5）气气换热器　气气换热器主壳体材料一般为16MnR或15CrMoR耐热钢，属于三类压力容器，工作温度为260℃，换热器内介质是反应气，为提高换热器内壁的耐腐蚀性能，实际生产中，对换热器内壁进行带极埋弧堆焊，过渡层为H309L（60mm×0.5mm）超低碳不锈钢焊带，耐蚀层为H308L(60mm×0.5mm)超低碳不锈钢焊带。焊剂型号分别配置SJ304和SJ303电弧型烧结焊剂。

（6）大型压机主、副柱塞　大型压机的主、副工作柱塞在缸体内进行往复工作，表面硬度一般要求42~48HRC，材料常选用45钢锻件，为了使主、副工作柱塞具有耐磨、耐蚀和耐高压水冲击的特殊性能，需采用堆焊的工艺方法制造具有复层金属的工件，堆焊层厚度要求机加工后在直径方向单边厚度为3mm，柱塞表面堆焊两层采用带极埋弧堆焊工艺方法比较合理。焊带H13Cr马氏体不锈钢，并配置SJ325电弧型烧结焊剂，对主、副工作柱塞表面堆焊，工件焊后进行450℃×10h退火热处理，柱塞堆焊层经各项检查，完全满足产品技术要求。

7. 结语

随着国民经济的高速发展，压力容器及压机产品的日趋大型化、轻量化、高参数化，促使堆焊技术向更优质更高效的方向发展，这给我国带极自动堆焊技术的快速发展提供了难得的机遇。纵观国内外带极自动堆焊技术的应用与发展，我国起步较晚，与工业发达国家（如日本、美国、德国等）相比差距还较大，我国带极自动堆焊技术仍处在研制、开发及推广应用阶段。因此，今后首先通过引进、消化、吸收国外堆焊设备的先进技术，加快带极堆焊设备的研发、改进与制造，为用户提供质优价廉的堆焊设备。其次应不断完善奥氏体不锈钢焊带品种，着力拓展马氏体不锈钢焊带种类，继续开发新型双相不锈钢焊带品种，加大研发不锈钢药芯焊带及镍基合金焊带的力度，还应高度重视配套焊剂的研发，在不锈钢焊带和焊剂的品种和质量上有所突破。不断加强带极自动堆焊工艺的基础性研究，逐步提高带极堆焊的工艺技术水平，确保堆焊质量。最后，国内的焊机、焊带及焊剂制造企业应进一步加强彼此间的横向交流与写作，尤其要加强科研院所、高校以及焊机、焊带及焊带制造厂和用户之间的“产、学、研、用”协作，充分发挥各自的优势，促进和提高我国带极自动堆焊的整体技术水平，更好地满足焊接生产需求。

作者简介：樊志勤等，太原重工股份有限公司。

MW 20170113

《金属加工（冷加工）》2017年第8期要目

全球分度转台技术现状分析与亟待解决的技术难题
滚柱滑座内型腔加工和检测方法
低温升蒸汽压缩机轴承箱加工工艺
大口径管线用绝缘接头制造
龙门加工中心主传动系统和滑枕结构优化设计
数控机床功能开发探索
新型数控反刮刀具在风力发动机制造上的应用
插铣法在加工中心上的应用
汽车发动机制造加工中硬质合金钻头的修磨
基于有限元分析汽车转向内拉杆摆角及装配限位块计算
加工中心上用CAXA/CAM加工零件
平衡千斤顶缸筒胀缸原因分析
基于主轴定向功能改进内直角加工方法