

采煤机截齿耐磨堆焊层的使用性能及其堆焊材料

太原理工大学焊接材料研究所(山西 030024) 孙 威

【摘要】 分析了采煤机截齿堆焊层的用途、作用机理、性能特点及其影响因素,讨论了截齿堆焊层堆焊材料种类及特点,介绍了截齿堆焊层堆焊材料的实际应用。结果表明,截齿堆焊层应当具有良好的综合抗损性能,材料特性是堆焊层性能的核心影响因素,堆焊层特性的改变,取决于堆焊材料成分、组织和性能的变化,以及配套堆焊工艺的严格实施。截齿堆焊层堆焊材料中,等离子堆焊材料所需设备比较复杂,TIG堆焊材料所用工艺也较复杂,电焊条堆焊材料具有工艺简便、成本较低、可供选用牌号较多、堆焊层使用效果较好等优点。焊条堆焊材料及工艺、等离子弧堆焊材料及堆焊工艺、TIG堆焊材料及工艺,都获得了满意的应用效果,CO₂气保护药芯焊丝堆焊材料的应用前景看好。

采煤机截齿耐磨堆焊层以其良好的综合抗损性能,保护截齿头免遭强烈的磨损而过早失效,在机械化综合采煤生产作业中获得了推广应用。从广义上讲,如果报废截齿被修复再利用,那么,截齿耐磨堆焊层工艺技术,将可能成为煤矿综采装备实现节约型循环经济技术的组成部分。虽然说截齿耐磨堆焊层在我国采煤生产作业中使用可能已有几十年的历史,一些单位在生产截齿耐磨堆焊层技术方面积累了一些经验。然而,在不少采煤作业中,由于采煤机截齿的质量问题,硬质合金刀头脱落、刀头碎裂、截齿头过早磨损失效的现象时有发生,致使每万吨煤消耗的截齿数量居高不下,加大了生产成本,直接影响了采煤机的生产效率。这表明,一方面对采煤机截齿耐磨堆焊层必须具备的使用性能特点理解不全面,片面追求耐磨堆焊层高硬度和高耐磨性;另一方面对耐磨堆焊层在采煤过程中的工作原理,以及截齿与煤岩之间的相互关系缺乏新的理念。

迄今为止,有关截齿耐磨堆焊层的专题研究文献报道并不多见,因此继续开展截齿耐磨堆焊层工作原理、使用性能控制机理等方面研究探讨,对寻求优化与改善截齿耐磨堆焊层使用性能的创新途径很有必要。

为此,本文特意将典型堆焊材料与截齿耐磨堆焊层磨损特性相联系,探讨截齿耐磨堆焊层使用性能及其影响因素,综合评述截齿耐磨堆焊层堆焊材料的特点及应用。该项研究对推动截齿耐磨堆焊层堆焊技术的进一步完善,提高截齿使用寿命,具有积极意义和参考价值。

1. 采煤机截齿耐磨堆焊层

为了解决截齿在采煤过程中的快速磨损失效问题,采用堆焊方式(或其他冶金方式)在截齿锥顶(硬质合金刀头)以下齿体部位,沿圆周方向堆焊一个宽度约20~30mm、厚2~3mm的环形带。此环形带即称之为耐磨堆焊层。从机理上讲,截齿耐磨堆焊层的作用是:①弥补或改变因硬质合金刀头钎焊工艺在齿体圆周形成的性能劣化现象(指先热处理后钎焊工艺生产的截齿)。②进一步优化或强化刀头部分使用性能。当然,采用先钎焊刀头后整体热处理截齿的制造工艺时,后者的作用更为突出。然而,实际情况并不简单,截齿耐磨堆焊层的出现和使用,将截齿刀头与被切割煤岩之间的磨擦、冲击等作用,转换为或部分转换为堆焊层与被切割煤岩之间的磨擦、冲击等作用。它们之间的磨擦磨损、冲击损伤等,不仅取决于两个接触体材料的特性及其匹配行

为,同时还受到采煤过程中诸多因素的影响。近年来,在多种可供选用的防止截齿过早失效的冶金技术中,工艺简便和效果较好者当推截齿耐磨堆焊层。研究表明,截齿耐磨堆焊层性能的优化与改善,是防止采煤过程中的截齿快速磨损失效的重要技术措施。事实上,自从截齿耐磨堆焊层技术出现以来,随着采煤现场出现问题的逐步克服,新型截齿耐磨堆焊层专用堆焊材料和技术不断被推出,截齿耐磨堆焊层的材料品种已经或正在发生质的变化,截齿耐磨堆焊层的使用性能已被优化到了一个新的水平。

2. 采煤机截齿堆焊层的使用性能及其影响因素

采煤机截齿(见图1、图2)耐磨堆焊层实质上是一个防护层,它的部位位于截齿合金刀头以下齿体的头部(见图3)。为什么要在该位置加焊一个堆焊层?这是采煤机截齿结构形式、齿体材料和制造工艺所决定的。镐型截齿由硬质合金刀头、齿头和齿柄三部分组成(见图2),采用钎焊工艺将硬质合金刀头嵌入齿体连接。可供选用的、能够满足截齿工况条件的齿体钢种很多,截齿制造企业可根据截齿种类及具体工况条件选择合适的截齿刀体材质。



图1 采煤机滚筒和截齿



图2 截齿的组成



图3 截齿耐磨堆焊层

表1列出三个牌号钢种,其中前两个为中碳调质钢(成分、性能符合GB/T 3077—1999),它们的供货状态通常为热轧。第三种钢为截齿专用准贝氏体钢。在实施刀头钎焊工艺时,装入刀头的齿体孔圆周及其附近的金属将因经受高温而软化,不再具有优异的力学性能,经受不住采煤过程中煤炭岩石的强烈磨损,而且因其过早磨损而丧失对硬质合金刀头的保护,导致刀头过早脱落、失效。在嵌入合金刀头附近圆周方向堆焊一个堆焊层,相当于在截齿齿体薄弱环节加装了一圈铠甲(见图3),避免截齿齿体与被切割煤岩过早直接接触,保护截齿齿体免遭煤炭及岩层强烈磨损。

表1 采煤机截齿齿体用钢化学成分和力学性能

钢 号	化学成分 (质量分数,%)								力 学 性 能				
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{el} /MPa	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z (%)	冲击吸收功 /J
42CrMo	0.38 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.90 ~ 1.20	0.15 ~ 0.25	≤ 0.30	≤ 0.035	≤ 0.035	≥ 1080	≥ 930	≥ 12	≥ 45	≥ 63
35CrMnSiA	0.32 ~ 0.39	1.10 ~ 1.40	0.80 ~ 1.10	1.10 ~ 1.40		≤ 0.30	≤ 0.025	≤ 0.025	≥ 1620	≥ 1280	≥ 9	≥ 40	≥ 31
BZ—30	≤ 0.21	≤ 2.0	≤ 2.0	适量	≤ 0.5	V 适量	≤ 0.020	≤ 0.010	1849	1580		50	30

截齿堆焊层的工况条件比较复杂,截齿在切割煤岩过程中除了承受周期性压应力、切应力和冲击载荷作用外,还要承受长时间磨粒磨擦、冲击产生的温升作用,以及腐蚀介质的腐蚀作用。有文献把截齿的磨损机制或性质归纳为,机械磨损伴随着热疲劳磨损和磨粒磨损。不难看出,截齿堆焊层的性能要求比较苛刻:首先自身要耐磨,也就是说在采煤过程中,截齿堆焊层与煤层间会发生持续磨擦运动,截齿堆焊层必须经受住煤层的长时间磨损。在这种情况下,希望堆焊层的硬度、耐磨性越高越好。其次,必须考虑截齿在切割煤岩过程中不可避免的冲击载荷作用,如果堆焊层的硬度太高,金属韧性较差,堆焊层金属容易发生崩裂或断裂。因此,并不是说堆焊层的硬度越高越好,而是应当综合考虑,使其具有良好的综合抗磨性能。所谓综合抗磨性能,是指具有较高耐磨性能前提下,适当降低硬度和耐磨性,以其适度的耐磨性改善堆焊层综合抗损性。最佳的综合抗损性与堆焊层硬度之间存在一定的匹配关系,该关系的量化确定,可能对于截齿堆焊层焊接材料性能的重大改进产生积极的推动作用。

截齿堆焊层的使用性能影响因素较多,总体上有三大因素:①是载荷力的影响。在采煤过程中,凡是增大作用在堆焊层与煤岩间接触力的因素,如增大采煤机牵引速度时,截齿的切割阻力增大,截齿的磨损现象就会加剧。②是截齿的几何参数和排列方式的影响。合理的截齿几何形状参数,以及与被采煤岩物理特性良好匹配的截齿排列方式,可以减小截齿的切割阻力和轴向力,从而减缓截齿的磨损。③是堆焊层与煤岩材料特性的影响。煤质的软硬以及夹矸石的多少,对截齿的磨损影响非常明显。煤质较软、夹矸石较少的煤岩,截齿切割阻

力较小,采煤机牵引阻力也较小,截齿的磨损率较小;反之,截齿的磨损率较大。

在上述堆焊层性能影响因素中,①和②是外在因素,③是内在因素,外因通过内因起作用。也就是说,无论是载荷力的影响,还是截齿的几何参数和排列方式的影响,最终要反映到堆焊层与煤岩材料特性的影响。材料特性是核心影响因素。在这里,煤岩材料特性是被预先选定的(即被采煤岩特性是客观已经存在的),可以改变材料特性的是截齿堆焊层。而截齿堆焊层特性的改变,归根结底取决于堆焊材料成分、组织和性能的变化,以及配套堆焊工艺的严格实施。

3. 采煤机截齿堆焊层的堆焊材料

截齿堆焊层堆焊材料的种类比较多,表2列出了几种典型堆焊材料。①CO₂气保护药芯焊丝 ZYD60。该焊丝采用 Cr-Mo-W-V 合金系统,熔敷金属显微组织为马氏体加合金碳化物,堆焊层硬度 HRC54~58。使用该焊丝的工艺参数:焊丝直径 1.2mm,焊接电流 240~260A,电弧电压 28~30V,焊丝干伸长 20mm~25mm,气体流量 20L/min,工件预热温度 200℃~300℃,层间温度 200℃,焊后紧急保温,缓冷至 100℃以下空冷。②等离子弧堆焊材料。选用 20CrMnTi 和 20CrMnMo 作为截齿母材,粉末填充材料的合金系统为 Cr-Mo-V-Ti,该工艺采用先完成堆焊层,后进行硬质合金刀头钎焊工艺顺序,利用钎焊热循环对等离子堆焊层进行二次硬化处理,获得硬度不降反升的堆焊层。③TIG 堆焊母材 Ni60+WC。首先采用钨极氩弧堆焊方法将 Ni60+WC 材料堆在截齿刀头防护部位,然后再用高频感应法熔覆 Ni60+WC 涂层。堆焊层的硬度可达 60~63HRC。④堆焊用电焊条。可供截齿堆焊层选用的电焊条牌号有多种,表2列出3

表2 截齿堆焊层的堆焊材料

材料种类	牌号	直径 /mm	堆焊层化学成分(质量分数,%)										堆层硬度 HRC
			C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	S	P	其他	
CO ₂ 气保护 药芯焊丝	ZYD60	1.6	0.4~0.8	1.0~2.5	0.5~1.5	3.0~6.0	4.0~6.5	1.0~2.5	4.0~5.5	≤0.035	≤0.035	<2.0	54~58
焊条	D317	3.2	0.7~1.0	—	—	3.0~4.0	4.5~6.0	1.5~3.0	3.0~5.0	≤0.035	≤0.04	<1.5	≥50
	D327	3.2	≤0.50	—	—	≤5.0	7.0~10.0	≤1.0	≤2.5	≤0.035	≤0.04	—	≥55
	ZD5	3.2	0.46	—	—	4.52	7.07	1.0	1.95	—	—	Nb0.15	≥52
TIG 焊材	Ni60+WC	—	0.6~0.8	—	4.0~5.0	16~18	B2.5~3.0	Fe≤5	—	—	Ni 余	WC 适量	60~63
等离子弧 堆焊材料	Ni60A	—	0.5~1.0	—	3.5~5.0	14~19	B3.0~4.5	Fe≤8	—	—	Ni 余	—	≥60

种, D317 和 D327 都是低氢钠型药皮电焊条, 采用 Cr-W-V-Mo 合金系统, 堆焊层硬度分别是 $HRC \geq 50$ 和 $HRC \geq 55$, 焊前工件预热温度要求 300°C 以上。ZD5 是本文建议选用的一种低氢型药皮电焊条, 该焊条采用 Cr-W-V-Mo 合金系统, 堆焊层硬度 $HRC \geq 52$, 通过不同规范的调质热处理, 亦可获得稍高一点堆焊层硬度。该焊条的最大特点是焊前工件可不预热堆焊。截齿堆焊的工艺方法颇多, 可供选用的堆焊材料不少, 生产企业可以根据自身的理解或条件, 选用不同合金系统的焊材或不同的堆焊方法, 进行试验或生产。

4. 采煤机截齿堆焊层堆焊材料的应用

(1) 堆焊焊条的应用 文献报道了采用直径 3.2mm 的高速钢焊条、 100A 焊接电流, 在 35CrMnSi 钢截齿基体上堆焊耐磨层的应用实例。该堆焊层表面硬度 $HRC53$, 堆焊层成分: $w_{\text{W}} = 11.4\%$ 、 $w_{\text{Cr}} = 3.67\%$ 、 $w_{\text{V}} = 1.85\%$, 堆焊层的显微组织为骨骼状莱氏体、马氏体及大量碳化物。论证了截齿堆焊层防磨作用的可行性。有一则专利介绍, 在截齿齿身表面开有环形、螺旋形或者肋条形凹槽, 并在其中堆焊不同成分的合金。齿身表面凹槽位置、数量、凹槽形状和深度, 可以根据采煤工况条件及对截齿耐磨性能要求改变, 凹槽中堆焊合金的成分和性能亦可被控制, 凹槽中堆焊合金与截齿齿身结合牢固, 耐磨粒磨损性能好, 抗冲击性强, 使用寿命长。

(2) 等离子弧堆焊材料的应用 文献报道, 在 20CrMnTi 和 20CrMnMo 钢制截齿头部、钎焊孔周边部位, 采用等离子弧两次堆焊耐磨合金层, 该合金层上端距钎焊缝 $< 2\text{mm}$, 下端距钎焊缝 $> 30\text{mm}$, 如图 4 所示。利用等离子弧堆焊高温热循环, 使齿头心部退火软化, 有利于钻削钎焊孔加工。在随后对硬质合金刀头的钎焊过程中, 由于加热温度较高, 堆焊层金属不可避免发生高温回火, 堆焊层中大量强碳化物元素 Mo、V、Ti、Cr 使碳化物析出, 导致堆焊层金属产生所谓二次硬化现象, 最终, 堆焊层硬度不是下降, 而是升高, 达到 $HV700$ 左右。井下工业试验表明, 等离子弧堆焊工艺彻底解决了钎焊过程对齿头造成的退火软化难题, 延长了硬质合金刀头的服役期。新工艺生产截齿的总体寿命, 达到传统工艺生产同类截齿的两倍以上, 制造成本降低 20% 。然而, 亦有资料提示, 等离子弧堆焊设备比较复

杂, 价格也较高, 消耗的氩气量比钨极氩弧堆焊得多, 对焊工的要求较高, 所以堆焊成本高。



图 4 等离子弧耐磨堆焊层

(3) 气体保护堆焊材料及其他堆焊材料的应用 有人试图采用 CO_2 气体保护实芯焊丝堆焊截齿, 由于市场缺乏高硬度耐磨堆焊用实芯焊丝, 所以采用实芯焊丝 CO_2 气体保护堆焊截齿用的不多, 推广受到一定限制。然而, 药芯焊丝可就不同了, 药芯焊丝以其合金元素易于加入或控制, 高硬度堆层比较容易获得, 应当说在截齿耐磨堆焊层中的应用前景看好。然而目前在互联网上可以搜索到的有关信息, 只有截齿堆焊用 CO_2 气体保护专用药芯焊丝商业广告, 而专用药芯焊丝的应用研究文献却较鲜见。表 2 中列出 TIG 堆焊材料 $\text{Ni60} + \text{WC}$, 需经过两种工艺方法, 即先用钨极氩弧焊将 $\text{Ni60} + \text{WC}$ 材料堆在截齿刀头防护部位, 然后再用高频感应法重熔 $\text{Ni60} + \text{WC}$ 涂层, 堆焊层的硬度可达 $60 \sim 63\text{HRC}$ 。该堆焊材料和工艺方法的工程案例是: 2008 年 10 月 27 日, 某(集团)矿业公司李家山矿 E12506 工作面(该工作面煤层厚度约为 3.6m , 含煤矸石约 5%), 在综采二队 MGT300/730 型双滚筒采煤机上(截齿型号 U92, 单筒齿数为 40, 滚筒转速为 35.7r/min , 截齿割深为 0.7m)安装该耐磨强化的 U92 截齿。截至 2008 年 11 月 24 日, 过煤量约 6万 t , 共消耗耐磨强化截齿 16 把, 每万吨煤消耗截齿约 5.3 把, 同比未经耐磨强化处理的截齿, 万吨煤消耗 13.3 把, 相对耐磨性提高 2.5 倍以上。

另据国内某研究所最近的企业资料介绍, 该研究所已成功研制出一种“双金属结构截齿”。该双金属结构截齿由两种钢组成, 齿头上部采用特种高耐磨合金钢, 其余部分采用普通合金钢。采用冶金连接方法将其连接, 其外观与普通截齿一样, 看不出连接痕迹。该研究所资料说, 这种双金属结构截齿投入某大型国营煤矿进行工业性试验, 采煤 39 天后又连续采掘岩石 21 天, 截

回转窑轮带裂纹修复工艺方案分析

朝阳重型机器有限公司 (辽宁 122000) 郭采凤 郝文静 祝亚峰

【摘要】 本文简述了回转窑轮带裂纹缺陷的修复工艺,说明大型轮带当裂纹深度为轮带厚度的1/2左右时,采取焊条电弧焊修复也是一个很好的办法。

回转窑是水泥生产企业的核心和关键设备,轮带、支承装置构成回转窑的承托部分,轮带质量的好坏直接关系到回转窑的运转率。我公司为朝阳兰陵水泥厂生产的2000t/d悬浮预热器干法生产线,窑规格为 $\phi 4\text{m} \times 60\text{m}$ 。2001年6月投产,在粗加工中发现一件轮带出现了夹渣、裂纹,裂纹深度为80mm,为保证产品质量,降低制造成本,我们对此件轮带的缺陷进行了修复处理。

1. 采取的措施

(1) 焊条电弧焊。利用U形坡口,焊机选用ZX5—500晶闸管整流电弧焊机,采用碘钨灯烘烤保温,用碳弧气刨开口。当坡口开到深80mm时,发现内部还有砂眼、夹渣等铸造缺陷,且裂纹进一步扩展。直到坡口深120mm、长300mm、宽80mm时,肉眼已看不到裂纹,齿的使用寿命达60多天。试验表明,与国内已经在役的截齿相比,使用寿命提高4~5倍,达到国内截齿产品的领先水平。该产品已经申请发明专利。

此外,有关文献还报道采用激光堆焊工艺及堆焊材料,还有采用烧结法在截齿刀头防护部位制备涂层的方法和材料,以及其他冶金方法和相应的材料。

5. 结语

(1) 采煤机截齿堆焊层实质上是一个防护层,在采煤过程中与截齿头(含硬质合金刀头),共同承受强烈磨损、周期冲击、高温及腐蚀等作用,截齿堆焊层性能的优化与改善,是防止截齿快速磨损失效的重要技术措施。

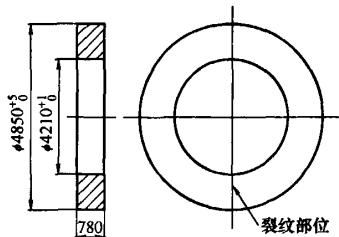
(2) 截齿堆焊层应当具有匹配良好的耐磨性、硬度等综合抗损性能,材料特性是截齿堆焊层性能的核心影

响因素,截齿堆焊层特性的改变,取决于堆焊材料成分、组织和性能的变化,以及配套堆焊工艺的严格实施。

(3) 截齿堆焊层堆焊材料中,等离子堆焊材料所需设备比较复杂,堆焊成本较高,TIG堆焊材料所用工艺也较复杂,相比之下,堆焊电焊条堆焊材料具有工艺简便、成本较低,以及可供选用牌号较多和堆焊层使用效果较好等优点。

(4) 堆焊焊条材料应用,使截齿堆焊层性能指标和堆焊层形状具有多变性和可控性;等离子弧堆焊材料及堆焊工艺的应用,彻底解决了钎焊过程对齿头造成的退火软化难题;TIG堆焊材料及工艺,也获得了满意的应用效果;气保护药芯焊丝堆焊材料在截齿堆焊层中的应用前景看好。**MW**

(20101023)



轮带缺陷部位