

## 经验交流

## 焊接刀具 PVD 涂层值得关注的几个问题

张而耕, 孔令超

(上海应用技术学院, 上海 200233)

**[摘要]** PVD 涂层在焊接刀具上的应用非常有限。利用多年涂层行业的工作经验, 阐述了对焊接刀具进行 PVD 涂层时需要注意的问题, 并针对这些问题提出了解决方案。根据这些方法, 可以对焊接刀具进行正常 PVD 涂层, 并能够大幅度提高焊接刀具的性能。

**[关键词]** PVD 涂层; 表面处理; 焊接刀具; 热处理; 硬质合金

**[中图分类号]** TG174.444

**[文献标识码]** B

**[文章编号]** 1001-3660(2010)03-0106-03

## Several Notable Problems from Welded Tools with PVD Coating

ZHANG Er-geng, KONG Ling-chao

(Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200233, China)

**[Abstract]** PVD coating is less applied to welded cutting tools. Based on author's hands-on background, it paid close attention to any problems from the coating of welded cutting tools, and above problems has been solved accordingly. Thus welded cutting tools can be coated smoothly on the basis of some methods in context, raising greatly performance of it.

**[Key words]** PVD coating; surface treatment; welded cutting tools; heat treatment; carbide

PVD 涂层在现代机械加工中应用越来越广泛<sup>[1-2]</sup>, 在整体钨钢刀具、高速钢刀具、各类模具及摩擦磨损件等方面都获得了很好的使用效果<sup>[3]</sup>, 但在焊接刀具上的应用却很少。近年来, 随着原材料价格不断攀升以及各大企业对降低成本的迫切要求, 焊接刀具的使用越来越多, 比如很多整体硬质合金钻头已经被焊接内冷钻头所代替, 再如焊接波刃铣刀、焊接铰刀、焊接车刀以及非标和异型刀具等的应用。虽然焊接刀具的成本非常低, 但同样面临性价比的问题。如果能够象整体刀具一样进行 PVD 涂层并提高其性能, 则有助于焊接刀具的推广应用。由于焊接刀具的特殊性, 所以进行 PVD 涂层时要区别对待。

## 1 焊接刀具 PVD 涂层时的变形及解决方法

焊接刀具通常是在金属基体上通过钎焊方式焊接上钨钢作为切削刃(如图 1 所示)。基体一般选择

65Mn, GCr15, Cr12, Cr12MoV, SKD11, Dc53 和高速钢等; 焊料目前主要有银焊料和铜焊料; 钨钢的牌号则很多, 一般是根据被加工材料和加工工艺进行选择。当前焊接刀具的设计、制造工艺已经非常成熟, 在使用过程中几乎不会出现任何问题。为了提高焊接刀具的寿命, 人们往往对其进行涂层, 但涂层后经常遇到焊接刀具变形、钨钢开裂、脱焊等现象, 这些问题一直困扰着焊接刀具的制造商、使用厂家和涂层厂家, 有时甚至不敢对焊接刀具进行涂层。

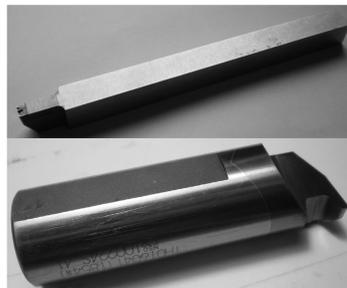


图 1 部分焊接刀具

Fig. 1 Part of welded cutting tool

焊接刀具的基体和钨钢是 2 种不同类型的材料,热膨胀系数存在很大差异,如果焊接刀具不进行 PVD 涂层,则基体的热处理温度和选材范围比较大。PVD 涂层时需要加热,温度通常为 450~480 °C,也有少数低温涂层温度为 150~250 °C,但温度低时,离子化率低,涂层结合力不好,因此刀具上很少使用低温涂层。考虑到 PVD 涂层时的加热温度,刀具基体的选材和热处理就需相当谨慎。刀具基体热处理时的回火温度必须高于 PVD 涂层时的温度(450~480 °C),才能保证焊接刀具涂层时刀体不变形。焊接刀具的刀柄一般要求硬度在 HRC45 以上即可,因此建议制造厂家选用 Cr12, Cr12MoV, SKD11, Dc53 和高速钢等材料,热处理时在 560 °C 以上回火,这样得到的刀柄,硬度至少在 HRC50 以上,完全能够满足使用要求。此外,被焊接钨钢和基体的变形量不同,如图 2 所示,上面的变形量为  $\Delta A$ ,下面的变形量为  $\Delta B$ ,如果  $\Delta A$  和  $\Delta B$  差别很大,在焊缝处就会产生很大的应力,造成焊缝的强度降低,如果刀柄在 560 °C 以上(通常要求 500 °C 以上即可)进行回火,可使涂层时刀柄变形很小,在焊缝处不至于产生很高的热膨胀应力,从而可防止焊接刀具在焊缝处断裂。需强调的是,如果焊接刀具需要涂层,绝对不能使用 65Mn 和 GCr15 等材料制造刀柄,因为如果使用这些材料,预使刀柄的硬度在 HRC45 以上,只能采用低温(150 °C 以下)回火,再进行涂层,而由于涂层的温度高于刀柄的回火温度,会造成刀柄被退火,硬度大大降低,同时可能造成刀具变形。各种材料热处理后的硬度如表 1 所示。

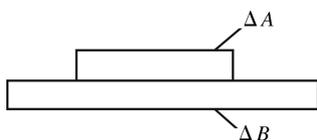


图 2 两块被焊接材料变形不一致

Fig. 2 Deformation disagreement for two welded materials

表 1 各种刀柄材料在不同温度回火后的硬度  
Tab. 1 Hardness for various shank materials after backfire at different temperature

回火温度	材料回火后的 HRC		
	65Mn	GCr15	Cr12, Cr12MoV, SKD11, Dc53 和高速钢
150 °C	60	60	
560 °C 以上	40	40	57 以上

## 2 某些铜焊刀具涂层后易出现断裂问题的分析

焊接刀具选用较多的焊料是铜和银,铜焊料由于价格便宜,相对来说使用得更多一些,但性能却不如银

焊料,采用铜焊料的刀具在涂层时应当分情况区别对待。钎焊中所采用的铜是一种铜锌合金,就是常说的黄铜,黄铜在加热时的相变有一定的特殊性,对于锌含量达到 50% 的黄铜,常温下是  $\beta$  相,但如果加热温度超过 462 °C,就会转变成  $\beta'$  相,而  $\beta'$  是一种脆性相,会使得刀具的焊缝强度降低,焊接处在使用时出现断裂。焊接刀具的制造厂家一般会控制黄铜的合金元素含量,但有时锌含量控制不好的话可能会超过 50%。对于不涂层的铜焊刀具,黄铜中的锌含量超过 50% 没有太大关系;但如果铜焊刀具需进行涂层,情况可就大不同了,因为涂层时的温度一般在 450~480 °C,在此温度范围内,锌含量超过 50% 的黄铜很容易产生由  $\beta$  相到  $\beta'$  相的转变,从而造成焊缝的强度降低。

实际使用中经常会出现这样的情况:一批涂层的焊接刀具都为铜焊刀具,且是在同一炉中进行涂层的(涂层温度约为 450~480 °C),但在使用过程中,有些刀具出现了断裂,而有些刀具并未断裂。这种情况就像上述分析的那样,发生断裂的刀具就是因为黄铜中锌含量很高,由于在涂层过程中温度超过了相变点(462 °C),产生了脆性的  $\beta'$  相,使得焊缝强度大大降低,进而造成刀具从焊缝处断裂。

另外需说明是,现在虽然也有相当部分的焊接刀具采用银焊料,但通常是采用三层焊的工艺,即中间的是银焊料,两边的是铜焊料,这主要是为考虑亲合性问题而设计的。对于银焊,即使有铜焊料打底,在涂层温度下也不会出现焊缝强度降低的现象,其原因主要是:银焊料与铜焊料之间有冶金熔合,使得黄铜中的锌元素含量被稀释,不会达到产生相变时的成分临界点(铜含量 50%),从而不会产生脆性的  $\beta'$  相,所以不会出现焊缝处断裂的现象。此外,银的加入能够减少焊接时的焊缝变形量,避免过高的应力集中,可在一定程度上防止刀具涂层后焊缝处的强度削弱。所以,建议涂层的焊接刀具尽量采用银焊料或者铜银混合的焊料。

## 3 焊接刀具涂层时焊缝溢出物原因分析及解决方法

一般整体硬质合金刀具在清洗、烘干后就可以直接进行涂层了,但对于焊接刀具却没有这么简单。焊接刀具是通过焊料将异种材料结合在一起,焊缝中的缺陷很多,主要有未焊透、夹渣、微裂纹、气泡等。未焊透和微裂纹这类缺陷中储存了很多液体、固体油污或其他污染物,正常的超声波清洗只能将表面的油污去除,而焊缝里面的油污很难清洗干净。由于涂层时会将刀具加热到 450~480 °C,这么高的温度足以使这些油污类污染物体积膨胀并从焊缝中溢出,附着在钨钢

上面和焊缝周围,使得这些地方的涂层附着力很差。因此,焊接刀具涂层后,在焊缝附近经常出现涂层大面积脱落并有很多污染物的现象。

对于这类问题,笔者通过探索已经得以成功解决。焊接刀具涂层的前处理可以采用以下工艺:清洗→真空加热→局部擦拭。清洗过程同整体钨钢刀具相同,在自动超声波清洗线内进行。清洗之后烘干,然后放入真空炉内加热到 200~300 °C,让油污自动溢出,随后冷却到 100 °C 以下出炉,检查每把焊接刀具,如果有油污溢出,只需用酒精棉局部擦拭干净即可。采用此种前处理方法可以保证焊接刀具进行 PVD 涂层的质量。

## 4 结语

笔者在涂层行业工作期间,与多家刀具厂商进行过技术交流合作,利用文中所述的方法为它们解决了很多焊接刀具的涂层问题(如图 3 中的不同涂层),使得焊接刀具同整体钨钢刀具一样,能够通过涂层大大地提高使用寿命,在进一步降低刀具成本和提高其

性价比方面具有较大意义。



图 3 不同涂层的焊接车刀

Fig. 3 Different coated welding lathe tool

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 谢宏. 切削刀具 PVD 涂层技术的发展及应用[J]. 硬质合金, 2002, 19(1): 14-17.
- [2] Frank Papa. PVD 涂层能够延长工具使用寿命[J]. 工具技术, 2008, 42(5): 93-94.
- [3] Li He-fei, Tao Shu-feng, Jiang Kuo, et al. Influence of Surface Modification on Isothermal Oxidation Behavior of Eb-PVD NiAl Coating [J]. Transaction of Nonferrous Metals Society of China, 2006, 16: 20-25.

(上接第 36 页)

治理,喷涂后的受热面管道如图 6 所示。到目前为止,电厂已经安全运行超过 26 000 h,涂层依然完好。可见,高速火焰喷涂 Fe-Al/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 复合涂层具有广阔的应用前景。



图 6 喷涂后受热面管道

Fig. 6 Heating surface tuber after spraying  
Fe-Al/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> composite coating

## 4 结论

1) Fe-Al/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 复合涂层抗高温腐蚀性能明显优于基体 20 钢和 Fe-Al 涂层。

2) Fe-Al/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 复合涂层的腐蚀动力学曲线呈抛物线形式,基体 20 钢的腐蚀动力学曲线呈直线形式,表明 Fe-Al/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 复合涂层在高温腐蚀过程中能够起到保护基体 20 钢的效果。

3) 经过高温腐蚀后的 Fe-Al/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 复合涂层,外层主要是结构疏松的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,内层主要是结构致密的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 保证了涂层更加有

效地抵抗高温腐蚀。

4) Fe-Al/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 复合涂层的腐蚀机理为内氧化机理。高温腐蚀发生时,首先在复合涂层表面出现 Fe 的氧化物,由于 Fe 元素不断进行化学反应,因此 Fe 的氧化层逐渐变得疏松,而 Al 则在内部生成致密的氧化物层。Cr 的作用是既生成氧化物保护涂层,又促进 Al 的氧化物的生长,从而保护涂层不被进一步氧化。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Chang S L, Pettit F S, Birks N. Effect of Angle of Incidence on the Combined Erosion-oxidation Attack of Nickel and Cobalt [J]. Oxidation of Metals, 1990, 34(1,2): 47-70.
- [2] Kang C T, Pettit F S, Birks N. Mechanisms in the Simultaneous Erosion-oxidation Attack of Nickel and Cobalt at High Temperature [J]. Metal Trans A, 1987, 18A(10): 1 785-1 803.
- [3] 徐润生,徐滨士,马世宁,等. 高速火焰喷涂 Fe-Al/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 复合涂层的组织与性能[J]. 金属热处理, 2006, (7): 46-49.
- [4] 徐维普. 高速电弧喷涂 Fe-Al/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 涂层研究及应用 [D]. 上海: 上海交通大学, 2005.
- [5] 朱子新. 高速电弧喷涂 Fe-Al/WC 涂层形成机理及高温磨损特性 [D]. 天津: 天津大学, 2002.
- [6] 徐润生,徐滨士,刘晓明. 涂层开裂对几种热喷涂涂层抗蚀效果的影响[J]. 表面技术, 2005, 34(4): 40-42.